

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ**  
**ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**  
**І ГЛОБАЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ**  
**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА**  
**ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

№ 1(17), січень-березень 2015 р.

**Збірник наукових праць**

Заснований у 2008 р.  
Виходить 4 рази на рік

**КИЇВ 2015**

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

**Головні редактори** **О.С. Волошкіна**, д-р техн. наук, проф.  
**О.М. Трофимчук**, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАНУ

### Члени редколегії:

<b>Білявський Г.О.,</b>	д-р геол.-мін. наук, проф.
<b>Биченок М.М.,</b>	д-р техн. наук
<b>Вижва С.А.,</b>	д-р геол. наук, проф.
<b>Довгий С.О.,</b>	д-р фіз.-мат. наук, проф., чл.-кор. НАНУ
<b>Заграй Я.М.,</b>	д-р хім. наук, проф.
<b>Калюх Ю.І.,</b>	д-р техн. наук, проф.
<b>Качинський А.Б.,</b>	д-р техн. наук, проф.
<b>Коржнєв М.М.,</b>	д-р геол.-мін. наук, проф.
<b>Малкін Е.С.,</b>	д-р техн. наук, проф.
<b>Олійник О.Я.,</b>	д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАНУ
<b>Павлишин В.І.,</b>	д-р геол.-мін. наук, проф.
<b>Радчук В.В.,</b>	д-р геол. наук
<b>Рибаков Л.О.,</b>	д-р техн. наук
<b>Стрижак О.Є.,</b>	канд. техн. наук
<b>Трофімович В.В.,</b>	канд. техн. наук, проф.
<b>Тугай А.М.,</b>	д-р техн. наук, проф.
<b>Удод В.М.,</b>	д-р біол. наук, проф.
<b>Шнюков С.Є.,</b>	д-р геол. наук, проф.
<b>Яковлєв Є.О.,</b>	д-р техн. наук

---

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України  
(протокол № 3 від 10.03.2015 р.)

Збірник наукових праць включений до списку наукових фахових видань України (затверджено Постановами Президії ВАК України №1-05/3 від 14 квітня 2010 р. за напрямом «технічні науки» та № 1-05/8 від 22 грудня 2010 р. за напрямом «геологічні науки»).

## ОСНОВНІ ТЕМАТИЧНІ РОЗДІЛИ ЖУРНАЛУ

- Екологічна безпека
- Основи природокористування
- Інформаційні ресурси та системи
- Дискусійні повідомлення

---

**АДРЕСА РЕДАКЦІЇ**  
03186, м. Київ, Чоколівський бульв., 13,  
Інститут телекомунікацій і глобального  
інформаційного простору НАН України  
Телефони: (044) 245-87-97  
(044) 524-22-62  
E-mail: itelua@kv.ukrtel.net

Свідоцтво про державну реєстрацію  
КВ № 14146-3117 Р від 27.05.2008 р.

Електронна версія журналу в Інтернеті  
знаходиться на сайті Національної  
бібліотеки України ім. В.І. Вернадського

# ЗМІСТ

## ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

<b>Трофимчук О.М., Мокрий В.І., Радчук В.В., Радчук І.В., Загородня С.А.</b> Інформаційне забезпечення гідроакустичного моніторингу озер Західного Полісся	5
<b>Рогожин О.Г., Яковлєв Є.О.</b> Потенційний приріст сейсмічності в Україні як фактор зростання ризику життєдіяльності від аварій на хіміко-небезпечних ПНО	15
<b>Запорожець О.І., Левченко Л.О.</b> Засади електромагнітного моніторингу міста в умовах підвищення електромагнітного навантаження на довкілля	28
<b>Кривомаз Т.І.</b> Радіаційний контроль міксоміцетів лісопаркових територій Києва	35
<b>ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ</b>	
<b>Олійник О.Я., Колпакова О.А.</b> Порівняльний аналіз теоретичних розрахунків з дослідями при очистці стічних вод на краплинних біофільтрах	45
<b>Атаєв С.В., Стефанишин Д.В.</b> Прогнозування змін гідролого-морфологічних характеристик річок при техніко-економічному обґрунтуванні проєктів відновлення малих гідроелектростанцій	57
<b>Воскобойник В.А., Хомицький В.В., Воскобойник О.А., Воскобойник А.В., Хижа І.А.</b> Фізичне моделювання течії поблизу гнучкої струмененаправляючої завіси	65
<b>Кравченко М.В.</b> Недоліки застосування локальних зворотноосмотичних установок на прикладі доочищення водопровідної води в готелі міста Києва	74
<b>ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ</b>	
<b>Радловська К.О., Волошкіна О.С.</b> Характеристика геоінформаційних систем моніторингу довкілля Рогатинського і Богородчанського районів Івано-Франківської області	83
<b>Греков Л.Д., Кузьмин А.В., Верюжский Г.Ю., Петров А.А., Скавронский В.П.</b> Региональная геоинформационная система мониторинга аграрных ресурсов с применением методов дистанционного зондирования Земли	88
<b>Васянин В.А., Ушакова Л.П.</b> Балансировка матрицы контейнерных потоков в задаче перевозки мелкопартионных грузов	98
<b>Альошина О.В., Горбань І.М., Івченко Д.В.</b> Оцінка фрагментування території біосферного резервату «Шацький» засобами ГІС	116
<b>РЕФЕРАТИ</b>	124
<b>ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ</b>	131

# CONTENTS

## ENVIRONMENTAL SAFETY

<b>Trofymchuk A.N., Mokryi V.I., Radchuk V.V., Radchuk I.V., Zagorodnya S.A.</b> Information support of hydroacoustic monitoring of the Western Polesie lakes .....	5
<b>Rogozin A.G., Yakovlev E.A.</b> Potential increase of seismicity in Ukraine as a factor of growth of personal and social safety risk from accidents on chemically dangerous objects.....	15
<b>Zaporozhets A.I., Levchenko L.O.</b> Fundamentals of electromagnetic monitoring of the city in the conditions of increasing electromagnetic pressure on the environment.....	28
<b>Kryvomaz T.I.</b> Radiation control of myxomycetes in forest-park territories of Kiev.....	35

## NATURAL RESOURCES

<b>Oleynik A.Y., Kolpakova O.A.</b> Comparative analysis of theoretical calculations with experiments in the purification of waste water to trickling biofilters.....	45
<b>Atayev S.V., Stefanyshyn D.V.</b> Predicting changes in hydrological and morphological characteristics of rivers on feasibility study projects of restoration of small hydropower station .....	57
<b>Voskoboinick V.A., Khomicky V.V., Voskoboinick A.A., Voskoboinick A.V., Khizha I.V.</b> Physical simulation of flow near-by the flexible training screen.....	65
<b>Kravchenko M.V.</b> Disadvantages of local reverse osmosis plants for example post-treatment tap water in the hotel in Kyiv.....	74

## INFORMATION RESOURCES AND SYSTEMS

<b>Radlovska K.O., Voloshkina O.S.</b> Description geographic information systems environmental monitoring Rohatynsky and Bohorodchansky districts of Ivano-Frankivsk region.....	83
<b>Grekov L.D., Kuzmin A.V., Veryuzhsky G.Y., Petrov A.A., Skavronsky V.P.</b> Regional information system monitoring of agricultural resources with application remote sensing of the Earth.....	88
<b>Vasyanin V.A., Ushakova L.P.</b> Balancing matrix containers flows in the problem of transportation of small cargoes..	98
<b>Alekhina O.V., Gorban I.M., Ivchenko D.V.</b> Assessment of fragmentation of biosphere reserve «Shatsky» by GIS.....	116
<b>ABSTRACTS</b> .....	124
<b>INFORMATION ABOUT THE AUTHORS</b> .....	131

## ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

УДК 551.21 (571.645)

**О.М. ТРОФИМЧУК, В.І. МОКРИЙ, В.В. РАДЧУК, І.В. РАДЧУК,  
С.А. ЗАГОРОДНЯ**

### **ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГІДРОАКУСТИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ОЗЕР ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ**

***Анотація.** У роботі наводяться результати батиметричної зйомки озер Світязь (Шацьке поозер'я) і Нобель (Нобельський ландшафт). Створено векторні електронні карти глибин озер, що дає можливість максимально точно інтерпретувати морфологічний рельєф, а також розширити інформаційність аналізу та інтерпретації морфологічного генезису утворення озерних улоговин. Обґрунтовано формування інформаційної бази системи гідроекологічного моніторингу лімносистем Західного Полісся на основі комплексного використання інформаційно-аналітичних методів і технологій. Запропоновано використання сучасної методики перетворення даних ехолотного профілювання в батиметричні схеми для опису озерних улоговин.*

***Ключові слова:** озеро, ехолот, батиметрична схема.*

**Постановка наукової проблеми та її значення.** Необхідність збереження і розвитку екологічного потенціалу України, підвищення її еколого-економічної ролі в Європейському союзі обумовлюють необхідність реалізації її науково-технічного потенціалу, розвитку наукомістких технологій і технічних засобів досліджень акваторій транскордонних територій Полісся. Рівень вимог до лімнографічної інформації залежить як від географічного положення, так і прийнятої екологічної політики держави [1]. Екологічний стан водойм розглядається як складова екологічної безпеки Полісся, що обумовлює актуальність оперативного гідроакустичного моніторингу окремих характеристик і параметрів станів озер та їхньої мінливості.

Інформаційна підтримка рішень з питань екологічної безпеки водного фонду на об'єктовому, регіональному і національному рівнях визначає обсяги фундаментальних і прикладних гідроакустичних досліджень [2], серед яких вивчення рельєфу дна, дослідження складу та властивостей донних ґрунтів і осадових порід, акустичної взаємодії водної товщі і дна, створення геолого-акустичних моделей окремих районів, а також створення ехолотних інформаційно-аналітичних технологій, під якими розуміється цілісний процес збору, обробки і доставки інформації споживачу. Складовими частинами гідроакустичних інформаційних технологій є: датчики вимірювання параметрів полів різної фізичної природи, телекомунікаційні системи доставки інформації, геоінформаційні системи обробки, архівації і візуалізації інформації [2].

Дослідження водойм необхідне для оцінки природних ресурсів озер [3] та розроблення рекомендацій щодо галузей їх господарського використання. В озерах Західноукраїнського Полісся зааккумуляовані значні водні ресурси [1]. Найбільші вони – у Волинській (943,65 млн м<sup>3</sup>), значно менші – у Рівненській (136,56 млн м<sup>3</sup>) областях. У регіоні є 417 озер загальною площею 16003,7 га, об'єм водної маси яких – 1080,21 м<sup>3</sup>. Озерним комплексам належить провідна роль у регулюванні й формуванні стоку річок, процесів самоочищення води, нагромадження речовини. Акваторія і береги є середовищем збереження та розвитку біорізноманіття. В озерах зосереджені водні, біологічні, мінеральні і рекреаційні природні ресурси. На узбережжі озер розміщені об'єкти стаціонарної та регульованої рекреації, населені пункти, промислові та агропромислові заклади, що призводить до забруднення водойм.

Аналіз озерних комплексів необхідний для виконання Національних та регіональних програм соціально-економічного розвитку, здійснення екологічної паспортизації водних об'єктів відповідно до розпорядження Ради Міністрів від 18 грудня 1987 р. № 658 та створення відповідної інформаційної бази даних.

**Аналіз останніх досліджень з цієї проблеми.** Досліджувані озера являються типовими гідрологічними об'єктами Західного Полісся. Загальні аспекти лімнолого-географічного аналізу озерних комплексів Західноукраїнського Полісся розглянуто у працях [4–10]. Батиметрична зйомка озер, дослідження їх морфології і гідроекологічного режиму на сучасному науковому і технічному рівні – важлива задача для розв'язку проблем, пов'язаних з природоохоронними та рекреаційно-господарськими функціями озерно-лісових комплексів і прилеглих територій.

До останнього десятиліття на Західному Поліссі не застосовувались сучасні прилади і програмне забезпечення для батиметрії озер. Відомі результати застосування цифрових ехолотів для досліджень морфології та газогідротермальної активності на дні внутрікальдерних озер [11], досліджень процесів замулення водосховищ [12]. Авторами [13] побудовано карту ізобат та рельєфу дна окремих частин о. Світязь, зокрема затоки Бужня та найглибшої частини озера. Проведено детальне батиметричне картографування ряду озер Західного Полісся, яке досягається оптимізацією міжгалсової віддалі і кроку зйомки [14]. Застосоване обладнання дозволяє проведення безперервної зйомки по профілю, забезпечує високу точність спостережень.

**Мета і завдання.** Формування інформаційної бази системи моніторингу гідроекологічного стану озер Західного Полісся на основі комплексного використання інформаційно-аналітичних методів і технологій, проведення гідрооптичних і гідроакустичних досліджень.

**Матеріали і методи.** Методика досліджень передбачає застосування даних лімнолого-географічного аналізу озерних комплексів Західноукраїнського Полісся для інтерпретації результатів ехолотного профілювання. Для батиметричних досліджень використовується сучасний гідроакустичний метод, який полягає в ехолотному зондуванні із синхронною GPS-прив'язкою ехолотних профілів. Вимірювання характеристик донного рельєфу базується на томографічному принципі, який полягає в просторово-часовому вимірюванні та аналізі відбитих і розсіяних дном коротких (від 1 до 10 мс) акустичних

імпульсів. Імпульси, досягнувши дна, поступово відбиваються від ділянок на різних глибинах. При цьому, розсіюючі властивості дна вимірюються у вертикальній площині, перпендикулярній курсу човна. Випромінювальна антена має вузьку (менше  $2^0$ ) діаграму направленості за напрямом руху човна і широку (до  $70^0$ ) – впоперек курсу. Такі характеристики прийомно-випромінювального тракту гідроакустичної системи забезпечують отримання об'ємного зображення рельєфу дна з кутовим розсіюванням по двох горизонтальних координатах менше  $2^0$ , а завдяки руху човна забезпечується можливість зондування дна по дистанції.

При проведенні батиметричної зйомки на озерах Світязь, Нобель, Засвітське використовувався надувний гумовий човен «Brig Baltic», розрахований на чотири людини. На човні був встановлений ехолот виробництва фірми Lowrance: «LMS-527сDF iGPS». Модель ехолота оснащена 12-канальним GPS-приймачем. Живлення ехолота здійснювалось компактними 12-вольтовими акумуляторними батареями. Робоча частота випромінювача звукових хвиль ехолота була встановлена рівною 200 кГц. Частота оновлення сигналу GPS-приймача 10 Гц.

В більшості випадків об'єм кожного ехолотного профілю становить від 5 до 30 тис. вимірюваних значень, в залежності від частоти і часу запису в один файл. Кожне значення є інформацією про координати точки зйомки, глибину, дату і час ехолотного проміру, температуру поверхні води, зміщенні відносно попередньої точки проміру й іншу допоміжну інформацію. У процесі обробки використовуються лише значення координат і глибин. Вибірка значень виконується так, щоб на кожен квадратний метр площі озера припадало одне усереднене значення глибини. За результатами проведення зйомки синтезуються картографічні моделі дна озер, створюються батиметричні схеми і гіпсометричні моделі.

**Виклад основного матеріалу і обґрунтування отриманих результатів дослідження.** Використовувана методика батиметричної зйомки дозволяє вимірювати глибини безпосередньо в точці розташування човна із встановленим ехолотом, а також забезпечує зондування дна по дистанції руху.

Якість синтезованих батиметричних схем суттєво підвищується із збільшенням кількості відпрацьованих профілів (рис. 1). Вибрана система профілів забезпечує максимально рівномірну щільність покриття ними досліджуваних озер.

Алгоритм отримання батиметричної схеми полягає у перетворенні даних ехолотного профілю для візуалізації результатів гідроакустичного зондування. Дані ехолотного профілю, у вигляді файлу з розширенням \*.slg, експортуються в програму Lowrance Sonar Viewer для двовимірної візуалізації профілю. Програмне середовище забезпечує графічну інтерпретацію даних, при цьому усуваються перешкоди вторинних відбиттів сигналу від поверхні води, інші сторонні шуми, а також фіксуються неоднорідності товщі води у вигляді границь з різною температурою. На цьому етапі можлива фіксація особливостей характеристик донного рельєфу з визначенням їх координат.

В подальшому дані експортуються в текстовий файл формату \*.csv, який імпортується редактором таблиць в стандартний табличний формат \*.xls. Для отримання значень координат і глибин в таблиці виконується фільтрація інформаційного масиву шляхом використання GPS даних про зміну позиції. Отримана таблиця експортується в програму Surfer, де створюється файл

розширення \*.srf, що представляє собою візуалізовану таблицю. На цьому етапі одержується площинна карта озера і залишається лише необхідна інформація у вигляді добре знятих і видимих основних ізобат. Далі створюється графічний файл \*.jpg або \*.bmp. При його відкритті у редакторі усуваються похибки, додаються шкали глибин, умовні позначення, необхідні фрагменти зображень, що забезпечує кондиційність синтезованої батиметричної схеми.

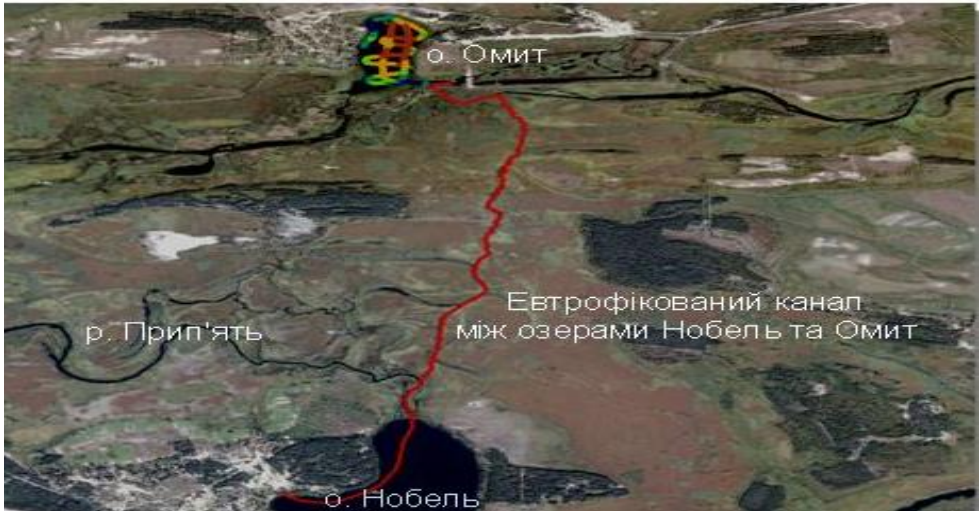


Рис. 1 – Схематичне зображення мережі профілів, відпрацьованих на озері Омит (проектований Нобельський НПП)

За результатами проведених експедиційних досліджень на території Шацького НПП здійснено вимірювання глибини та рельєфу дна озера Світязь. На основі отриманих даних ехолотного профілювання складена батиметрична схема (рис. 2) озера Світязь. Для наочного відображення інформації в ArcGis Analyst побудовану модель рельєфу озера Світязь суміщено із космічним знімком QUICK BIRD. За результатами досліджень доведено складність рельєфу дна озера, що узгоджується з даними [4–14].

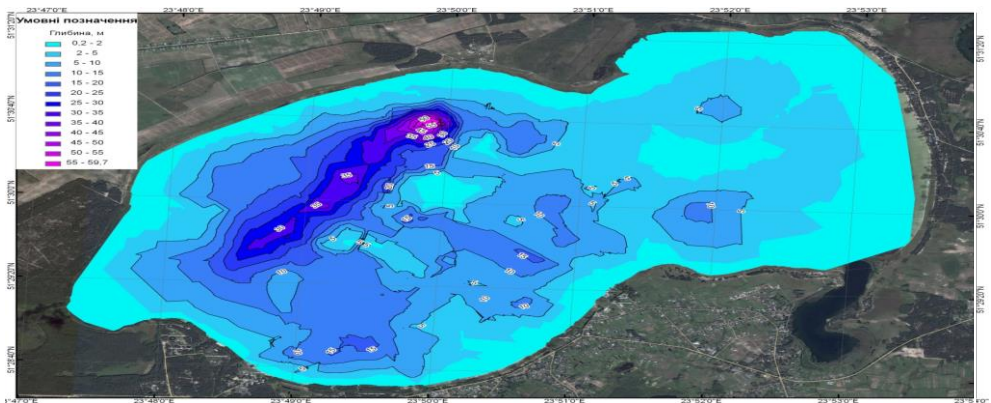
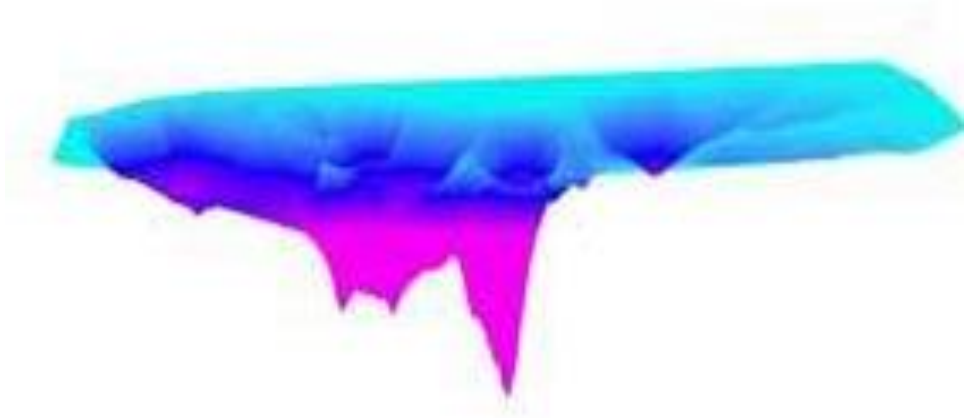


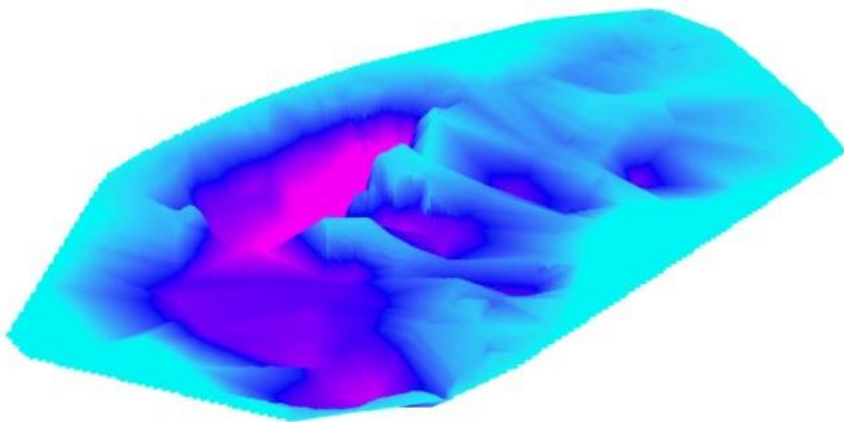
Рис. 2 – Результати батиметричної зйомки о. Світязь, Шацький НПП



Апаратура ехолотного проміру забезпечує високу ефективність аналізу просторового розподілу інтенсивності розсіяного і відбитого акустичного поля. Виконано ехолотні вимірювання рельєфу дна озера Світязь шляхом автоматичного запису логфайлу, з наступною обробкою в ArcGis, побудовано 3D моделі глибин в модулі розширення 3D Analyst. За результатами досліджень розроблено прототип макету векторної електронної карти глибин (рис. 3) о. Світязь Шацького НПП. На основі аналізу результатів батиметричних вимірювань отримано «акустичне зображення» дна озера, що дає можливість максимально уточнити морфометрію його рельєфу та об'ємних неоднорідностей підводного ґрунту, а також розширити інформативність аналізу та інтерпретації морфологічного генезису утворення озерної улоговини.



а) вертикальна проекція



б) горизонтальна проекція

Рис. 3 – Прототип макету векторної електронної карти глибин озера Світязь, Шацький НПП, у вертикальній і горизонтальній проекціях

Озеро Світязь належить до групи Шацьких озер – найчисленнішої групи природних вододільних водойм Поліського озерного поясу України, яка розміщена між двома постмаксимальними стадіями кінцевоморенних утворень материкового зледеніння на вододільній крейдовій поверхні рік Західного Бугу і Прип'яті [4–10]. Утворення озерних улоговин тут відбувалося у неоднакових геоморфологічних умовах екзогенного рельєфотворення (льодовикового, карстового, флювіального), що і вплинуло на їхні морфометричні та морфологічні відмінності й генезис.

Озеро Світязь – найглибше і найбільше за об'ємом прісноводне озеро України. Розташоване на території Шацького національного природного парку (НПП) на Волинському Поліссі. Площа озера 26 км<sup>2</sup>, максимальна глибина, за даними С. Ленцевича [10], становить 58,4 м, що узгоджується з даними [13] та підтверджено проведеними дослідженнями [14]. Середня глибина становить 6,3 м, прибережна смуга мілководна. Берегова лінія протяжністю понад 30 км.

Згідно з [8, 9] вважається, що водойми Шацького поозер'я є голоценовими утвореннями, які сформувалися внаслідок розвантаження вод верхньокрейдового горизонту та підвищення рівня ґрунтових вод. У формуванні озерних улоговин головним рельєфотворним чинником був льодовиковий – ерозія та екзарація льодовикових вод, підгачування їх льодом і моренним матеріалом, осідання і танення мертвого льоду. Важливу роль у подальшому формуванні озерних улоговин відіграли карстові процеси та ізостатичні тектонічні коливання, які вплинули на значну тріщинуватість крейдового горизонту.

Лімнологічно-географічні дослідження озер [4], які формують сучасні ландшафти Західноукраїнського Полісся, обумовлюють пізнання генезису та сучасного екологічного стану. Моніторингові дослідження необхідні для розв'язку важливих задач раціонального ресурсокористування. Базуючись на матеріалах морфолітогенетичного аналізу озерних улоговин за походженням, виділені [4] групи озер: карстово-тектонічні, що приурочені до тектонічних порушень та пов'язані з древнім і сучасним карстом; суфозійно-карстові, що сформовані серед четвертинних відкладів і підстеляються тріщинуватими мергельно-крейдяними утвореннями; заплавні, що пов'язані з річковими системами. Морфолітогенез озер відображається у семи етапах розвитку лімносистем і корелює з інформацією стосовно озер суміжних територій – Польщі, Білорусі та Полісся України [4].

Описана в роботі [15] концепція походження Поліських озер і параболічних дюн базується на геофізичній моделі утворення озерних улоговин вихровими потоками води. Модель враховує геоекоекологічні аспекти співвідношення озерних котловин з осадовою товщею та параболічними дюнами і базується на комплексних даних дистанційного зондування прилеглих територій і гідроакустичному зондуванні рельєфу дна озер. Для верифікації моделі доцільне застосування актуальних технологій дистанційного зондування Землі з космосу та геоінформаційних систем в подальших дослідженнях Нобельської лімнологічної системи.

Озера Західноукраїнського Полісся віднесені [4] до груп малого ( $S < 10 \text{ км}^2$ ) питомого водозбору. Вони характеризуються невеликим ( $< 0,5$ ) і середнім (0,5–5) умовним водообміном, що свідчить про автохтонність процесів водного режиму. Сповільнений водообмін формує індивідуальні

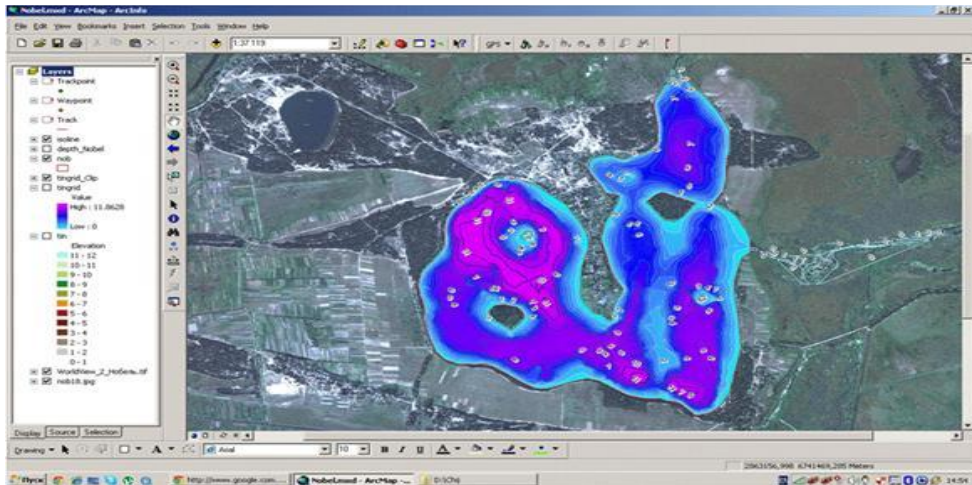
особливості гідроекологічного режиму водойми, що потребує регіонально-локального підходу до розробки схем їх використання та охорони [4–9]. Запропонована [4] класифікація озер за морфометричними, гідрологічними, біологічними та іншими параметрами необхідна для визначення ресурсного потенціалу водойм та раціонального їх використання в рекреаційно-господарському комплексі регіону. В цьому контексті надзвичайно важливим є природоохоронний аспект функціонування озера Світязь, в складі Шацького НПП, а також озера Нобель, в складі проектного Нобельського НПП.

Комплексними наземними та дистанційними методами моніторингу визначено особливості та ключові проблеми функціонування Нобельської лімнологічної системи. Основними її складовими є озера Нобель та Засвітське, що знаходяться в Зарічненському районі на півночі Рівненської області. На відміну від Шацьких озер, які знаходяться на головному європейському вододілі, ці озера знаходяться в заплаві річкової системи Прип'ять-Стохід. Режим водообміну озер тісно пов'язаний з режимом даних річок. Озеро Нобель має площу водного дзеркала 4,99 км<sup>2</sup> та є проточним – Прип'ять впадає в нього з півночі і виходить зі східного боку. У верхів'ї Прип'ять утворює багато рукавів (частково глухих) і протікає через два великих озера Люб'язь і Нобель. Найбільше число рукавів знаходиться між містечком Ратно і гирлом річки Ясольди. Між озерами Люб'язь і Нобель великий північний рукав носить назву Парок, а нижче озера Нобель головний рукав (теж північний) називається Струмень, тоді як менший (південний) рукав зберігає назву Прип'ять [16]. Пряме антропогенне навантаження на озеро Нобель невисоке, оскільки в радіусі 30 кілометрів знаходяться лише сільські поселення, а сільськогосподарська, рибогосподарська діяльності та водозабір не носять інтенсивного характеру.

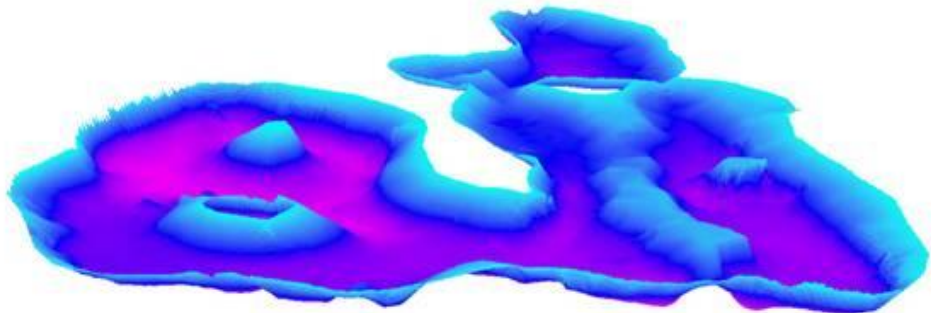
Дослідження водойм забезпечує виявлення закономірностей і спрямованості трансформаційних гідроекологічних процесів. Антропогенний вплив на лімноконспекти призводить до змін морфометричних параметрів, об'єму вологісного режиму, фізико-хімічних параметрів стоку, біорізноманіття та продуктивності гідробіонтів. Доцільне використання характеристик стану водойм та їх ресурсного потенціалу в якості інформаційної бази системи територіального гідроекологічного моніторингу. Інформаційно-аналітична база формується для розробки управлінських рішень та системи конструктивних оперативних заходів охорони і раціонального використання досліджуваних водойм.

При проведенні батиметричної зйомки за відпрацьованими профілями проведено зйомку глибин озер Нобель (рис. 4). Геоінформаційними інструментами, що містить програмний комплекс ArcGIS 9.3, побудовано векторну карту глибин даних озер. На рис. 4 показано зображення робочого вікна модуля ArcMap із векторним зображенням карти глибин озера Нобель.

При проведенні акустичного зондування за відпрацьованими профілями проведено батиметричну зйомку глибин озера Нобель (рис. 4). Геоінформаційними інструментами, що містить програмний комплекс ArcGIS 9.3, вперше побудовано векторну карту глибин даних озер. На рис. 4 показано зображення робочого вікна модуля ArcMap із векторним зображенням карти глибин озера Нобель, синтезованого із космічним знімком QUICK BIRD прилеглих територій. За результатами досліджень показано складність рельєфу дна, обумовлену геофізичними умовами формування озера.



а)



б)

Рис. 4 – Карта глибин, синтезована із космічним знімком QUICK BIRD прилеглих територій (а), та 3D-модель (б) озера Нобель

За результатами досліджень вперше складені батиметричні схеми озер Нобель (рис. 4) і Засвітське, на яких чітко видно їх донний рельєф. Морфометрія і особливості будови озерних улоговин дає підстави для припущення схожості їх походження.

Дослідження водойм забезпечує оцінку їх природних ресурсів та розроблення рекомендаційних заходів їх господарського використання. При розв'язку задач раціонального ресурсокористування необхідне врахування генетичного типу озер. Для мезотрофних озер найбільш доцільним є широке використання водних ресурсів у агровиробництві, промисловості, комунальному і рекреаційному комплексах. У дистрофних і гіперевтрофних водоймах доцільно використовувати водні, органо-мінеральні і біологічні ресурси для всіх галузей господарювання [5]. У сучасних умовах вилучення озер зі сфери господарства недоцільно, оскільки їх використання буде зростати за умови розвитку рекреаційно-господарського комплексу. Проблема полягає в раціональному використанні цих озер, забезпеченні охорони від забруднень та створенні умов для збереження їх ресурсів. Оптимізація використання озер є

частиною загальної проблеми ресурсокористування. Важливим природоохоронним заходом від антропогенного евтрофування є створення водоохоронних зон, які запобігають надходженню забруднюючих і біогенних речовин з водозбору в озеро.

Основою для організації природоохоронних територій [17] є унікальність флори, поширення зникаючих і реліктових видів рослин і тварин, унікальні особливості будови улоговин, поширення рідкісних типів відкладів, збереженість типових озерних ландшафтів, які служать предметом наукових досліджень [18] та естетичного виховання. Формування Нобельського НПП передбачається на основі існуючих об'єктів ПЗФ – РЛП «Прип'ять-Стохід», заказників загальнодержавного значення – Острівського гідрологічного та Вишівського ботанічного, заказників місцевого значення – Мутвицького загальнозоологічного, загальнозоологічного «Урочище Глуша», ботанічної пам'ятки природи місцевого значення «Псевдотсуга тисолиста» [17, 18], а також орнітологічного заказника «Нобельський» (площа 510 га) та іхтіологічного заказника «Прип'ятський» (3155 га) на території Морочнівського лісництва Державного підприємства «Зарічненський держспецлісгосп», які мають велике значення для охорони озер. Територіально проєктований Нобельський НПП межує з НПП «Прип'ять-Стохід», Рамсарськими водноболотними угіддями міжнародного значення «Заплава річки Прип'ять» та «Заплава річки Стохід», що підтверджує необхідність розвитку національної екологічної мережі та транскордонного співробітництва.

Отримані результати необхідні для визначення ресурсного потенціалу озер Нобельської лімнологічної системи, можливостей їх використання в рекреаційно-господарському комплексі та обґрунтування доцільності формування на їх основі Нобельського НПП.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Різноманітність використання озер ініціює необхідність формування природоохоронних територій на базі озерно-лісових комплексів, визначає специфіку науково-практичних робіт. Відпрацьована методика гідроакустичного вивчення донного рельєфу озер виявилась достатньо ефективною. Її застосування можливе на будь-яких інших гідрологічних об'єктах, особливо важкодоступних, завдяки мобільності експериментального обладнання.

Апаратура ехолотного проміру забезпечує високу ефективність аналізу просторового розподілу інтенсивності розсіяного і відбитого дном озера акустичного поля, отримання геоекологічних моделей рельєфу дна озер, дає можливість максимально уточнити морфометрію рельєфу дна та об'ємних неоднорідностей підводного ґрунту, а також розширити інформативність морфологічного генезису утворення озерних улоговин.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Національна екологічна політика України: оцінка і стратегія розвитку / Документ в рамках проєкту ПРООН/ГЕФ «Оцінка національного потенціалу в сфері глобального екологічного управління в Україні» // [Електронний ресурс] // – Режим доступу: [http://www.un.org.ua/files/national\\_ecology.pdf](http://www.un.org.ua/files/national_ecology.pdf).
2. Гончар А.І., 2006, Концепція розвитку гідроакустики в Україні / А.І. Гончар // Гідроакустичний журнал: – 2006. – № 3. – С. 5–16.

3. Трофимчук О.М., Красовський Г.Я., Радчук В.В., Мокрий В.І. Інформаційно-аналітичні технології дослідження озер Шацького НПП // Збірник наукових статей. III Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю, Вінниця, 21–24 вересня 2011 р., Т. 1., – С. 130–133.
4. Ільїн Л.В. Особливості озерних комплексів Західноукраїнського Полісся // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2007. – Вип. 256. – С.359–366.
5. Ільїн Л.В. Конструктивно-географічні основи господарського використання різнотипних озер Полісся // Наук. вісник Волин. держ. ун-ту імені Лесі Українки. – 1999. – № 9. – С. 52–55.
6. Ільїн Л.В., Мольчак Я.О. Озера Волинської області: Лімно-географічна характеристика. – Луцьк: Надстир'я, 2000. – 140 с.
7. Ільїн Л.В. Озера Західного Полісся: особливості поширення, класифікації // Природа Західного Полісся та прилеглих територій. – Луцьк: РВВ«Вежа» Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки, 2004. – С. 73–78.
8. Карпенко Н.І. Типізація озерних улоговин Шацького поозер'я // Українське Полісся: вчора, сьогодні, завтра. – Луцьк, 1998. – С. 95–96.
9. Карпенко Н.І., Хомік Н.В. Динаміка берегів озер поліського типу // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геог. – 2000. – Вип. 27. – С. 39–45.
10. Lenzewicz St. Miedzyrzecze Bugu i Prupesi. Wody plynace i jeziora // Przegląd geogr., – 1931. – Т. 11. – С. 5–28.
11. Козлов Д.Н., Жарков Р.В. Новые данные по морфологии внутрикальдерных озер островов Кунашир и Симушир // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. – 2009 № 2. – Вип. № 14. – С. 159–164.
12. Третяк К.Р., О. Ломпас О. Дослідження замулення Тереблянського водосховища // Геодезія, картографія і аерофотознімання. Вип. 73. –2010. – С. 61–68.
13. Сопрунюк П.М., Мельник М.М. Вимірювання батиметричних характеристик озера Світязь // Відбір і обробка інформації. – 2011. – Вип. 35 (111). – С. 91–95.
14. Трофимчук О.М. Гідроакустичний моніторинг озер Світязь (Шацький НПП) і Нобель (проектований Нобельський НПП) / О.М. Трофимчук, Г.Я. Красовський, В.В. Радчук, В.І. Мокрий, І.В. Радчук, В.О. Охарев, В.Ю. Вишняков, О.В. Атрасевич, В.О. Шумейко, С.А. Загородня, М.А. Попова, П.В. Юрчук, Н.В. Хомік, В.І. Матейчик // Національні природні парки – минуле сьогодення, майбутнє: мат. міжнар. наук.-практ. конф. до 30-річчя Шацького НПП. – К.: ЦП «Компринт», – 2014. – С. 165–167.
15. Пазинич В. Походження Поліських озер та параболічних дюн / [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <http://independent.academia.edu>
16. Большой энциклопедический словарь Брокгауза Ф.А., Ефрона И.А. / [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <http://www.cultinfo.ru/fulltext/1/001/007/121/>
17. Розробка наукового еколого-економічного обґрунтування проекту створення Національного природного парку «Нобельський» (1 етап) / Рівненська область. Екологічний паспорт регіону // [Електронний ресурс] // – Режим доступу: [http://www.ecorivne.gov.ua/tmp/ecorpassport\\_2011.pdf](http://www.ecorivne.gov.ua/tmp/ecorpassport_2011.pdf).
18. Журавчик Р.О. До вивчення фауни проєктованого Нобельського національного природного парку / Р.О. Журавчик, І.В. Шидловський // Заповідна справа в Україні: – 2012. – Т. 18. – Вип. 1–2. – С.42–50.

*Стаття надійшла до редакції 26.01.2015*

УДК 504,058; 504.3.054

О.Г. РОГОЖИН, Є.О. ЯКОВЛЄВ

## ПОТЕНЦІЙНИЙ ПРИРІСТ СЕЙСМІЧНОСТІ В УКРАЇНІ ЯК ФАКТОР ЗРОСТАННЯ РИЗИКУ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ВІД АВАРІЙ НА ХІМІКО-НЕБЕЗПЕЧНИХ ПНО

***Анотація.** Здійснено регіональну оцінку сукупного сейсмічного ризику руйнування хіміко-небезпечних ПНО з урахуванням його приросту під впливом інженерно-геологічних умов та оцінку потенційних втрат від імовірних аварій на таких ПНО із викидом отруйних речовин.*

***Ключові слова:** сейсмічний ризик, небезпечні екзогенні геологічні процеси, хіміко-небезпечні об'єкти, летючі токсичні речовини, ризик життєдіяльності, геоінформаційні системи.*

### 1. Регіональний сейсмічний ризик в Україні

Імовірність виникнення надзвичайних ситуацій (НС) у хімічній галузі України є неприйнятно великою ( $1,29 \cdot 10^{-3}$  станом на 2001 р.), а в нафтохімічній – на межі між прийнятно і неприйнятно великою ( $9,7 \cdot 10^{-4}$ ) [1, с. 85–86]. Основними факторами, що викликають техногенні аварії, є (у порядку зменшення частоти реалізації): людський чинник (особливо помилки персоналу), конструктивні й організаційні недоліки, небезпечні природні процеси (атмосферні явища, повені, сейсмічні події, просадкові, зсувні та інші екзогенні геологічні процеси). Причому саме небезпечні природні процеси, зокрема сейсмо-геологічні, реалізують найбільші за масштабом та ризиками життєдіяльності аварії на потенційно небезпечних об'єктах (ПНО), зокрема на хіміко-небезпечних (ХНО).

Основними факторами подальшого зростання ризику життєдіяльності від аварій на ХНО із викидом отруйних (токсичних) речовин та ураженням ними персоналу і населення, на нашу думку, в Україні є: загроза воєнних дій і тероризму; висока зношеність технологічного обладнання та конструкцій; природно-антропогенна активізація небезпечних екзогенних геологічних процесів (НЕГП), спричинена техногенезом.

Вплив першого з цих факторів може бути відносно швидко знівельовано комплексом політичних і адміністративних заходів. На жаль, останні два фактори набагато стійкіші у просторово-часовому вимірі. Вони зумовлюють не лише довготривалий приріст імовірності і тяжкості наслідків аварій на ХНО внаслідок сейсмічних подій (власне сейсмічного ризику), а й зменшення стійкості їх технологічного обладнання та будівельних конструкцій до військових і терористичних атак. При цьому виникає загроза ланцюгового розвитку НС, збільшення зони їх територіального прояву, провокування нових аварій на ХНО, тобто виникнення «каскадного ефекту» реалізації негативних наслідків.

Поняття *сейсмічна безпека* і *сейсмічний ризик* принципово відмінні. Сейсмічна безпека є природним явищем інтенсивності струшувань, тоді як сейсмічний ризик описує взаємодію між сейсмічною безпекою і уразливістю людей або споруд.

Між ризиком і уразливістю спостерігається складна фізична залежність. Для певних типів будівель існує зв'язок між інтенсивністю струшування ґрунту і рівнем ушкодження (крива крихкості). Сейсмічний ризик може бути також виражений як вірогідність того, що будівля може бути пошкоджена в певний період часу, наприклад, за 50 років. Тому сейсмічний ризик кількісно визначається чотирма параметрами: *імовірність, рівень загрози* (фізична або грошова оцінка втрат), *просторовий* вимір і вимір *в часі* [2].

В Україні сейсмонебезпечні райони з прогнозованою інтенсивністю сейсмічних впливів від 6 до 9 балів за шкалою MSK-64 займають близько 20% території (майже 120 тис. км<sup>2</sup>), на якій мешкає понад 10 млн населення. Райони з інтенсивністю 7–9 балів за шкалою MSK-64 охоплюють близько 12% території України, де мешкає понад 7 млн населення [3].

Як зазначає С.В. Буднік, сукупний *регіональний сейсмічний ризик* для певної території відображається моделлю [4]:

$$R_R = (I_3 + G_H) \times V_C \times D_P \times E_A, \quad (1)$$

де:  $I_3$  – зональна сейсмічна небезпека;  $G_H$  – приріст сейсмічності;  $V_C$  – уразливість споруд;  $D_P$  – соціальний фактор уразливості;  $E_A$  – економічний фактор уразливості.

*Зональна (регіональна) сейсмічна небезпека* ( $I_3$ ) вимірюється в балах або піковому прискоренні землетрусів для різних періодів повторюваності. *Середня сейсмічна інтенсивність* землетрусів як індикатор зональної сейсмічної небезпеки може бути розрахована за формулою:

$$I = 1,5M - 4,5 \lg(\sqrt{H^2 + R^2} + 7,0) \quad (2)$$

де:  $M$  – магнітуда за Ріхтером;  $H$  – глибина осередку, км;  $R$  – епіцентрально відстань, км.

*Приріст сейсмічності* ( $G_H$ ) відбувається за рахунок посилюючих фізико-механічних властивостей ґрунтів (пуккість, пластичність, водонасиченість, поровий тиск), впливу рельєфу, гідрогеологічних умов та небезпечних геологічних процесів (зсуви, просадки, розжиження, розриви).

*Вплив гідрогеологічних умов* за рівня ґрунтових вод понад 5–10 м (від поверхні) припустимо не враховувати. *Вплив рельєфу* на амплітудно-частотні характеристики землетрусів стає відчутним за стрімкості схилів  $\kappa = h/l = 0,08(4^\circ)$ . Вважається, що за  $0,08 \leq \kappa < 0,2$  – амплітудно-частотні характеристики посилюються в 1,5 разу, а за  $\kappa \geq 0,2$  – в 2 рази. Вплив рельєфу істотно залежить від *потужності та обводненості осадових пухких відкладів*. За потужності осадової товщі до 125 м вплив рельєфу відчутний, за потужності у 150 м і більше – він не відчувається.

Однак загальний внесок НЕГП у формування сейсмічного ризику традиційно оцінюють у межах 3–5% і зазвичай не враховують, незважаючи на те, що за оцінками фахівців [5–8] територія України в останні десятиліття перетворилася в показовий полігон для вивчення всебічного впливу господарської діяльності на водо-енергообмін у верхній зоні геологічного середовища (ГС), порушення рівноваги якого негативно впливає на геомеханічну стійкість породного масиву.



Інтенсивний комплексний вплив на ГС відбувається в районах атомних електростанцій, де відзначається підвищення температури підземних вод і гірських порід до  $10^{\circ}\text{C}$  і більше, *підйом рівня підземних вод до критичної глибини (2–3 м)*, активізація карстових та карстово-суфозійних процесів (Рівненська, Чорнобильська, Південно-Українська та інші АЕС). Критичні глибини залягання ґрунтових вод відзначаються на зрошуваних землях, де переважають площі з глибиною залягання до 3 м від поверхні землі (рівнинний Крим, Херсонщина). Загалом *всі техногенні зміни ГС призводять до порушення балансу вод у верхній частині літосфери і змінюють її міцність та густину у розрахунку на одиницю площі*. Тільки в межах рівнинного Криму (Північно-Кримський прогин) за період зрошення водами Північно-Кримського каналу *запаси потенційної енергії за рахунок водної складової збільшилися до  $7,4 \times 10^9$  Дж*. Все це не тільки змінило стан ГС, але й призвело до збільшення інтенсивності сейсмічних струшувань земної поверхні, викликало активізацію сучасних геологічних процесів та *технічні порушення споруд, не характерні для сейсмічності, що затверджена нормативними документами* [5, с. 134].

Проблема уточнення сукупного сейсмічного ризику шляхом врахування його інженерно-геологічної складової на регіональному, місцевому і об'єктовому рівнях потребує спеціальних досліджень у відповідному масштабі. На регіональному рівні такі дослідження в Україні виконані колективом під керівництвом проф. А.В. Лущика у 1990-х рр. Ними були розроблені макети і складені карти *регіональної оцінки (районування) інженерно-сейсмологічного ризику*, відображеного показниками *приросту сейсмічної бальності* щодо зональних нормативів ОСР-78. Загалом була охоплена територія 14 областей України, її Південного (Одеська, Миколаївська, Херсонська обл., АР Крим), Донецько-Криворізького (Дніпропетровська, Запорізька, Донецька, південна частина Луганської обл.) та Карпатського (Закарпатська, Івано-Франківська, Чернівецька, південні частини Львівської, Хмельницької та Вінницької обл.) регіонів [9].

## 2. Постановка задачі

В Україні всі хіміко-небезпечні ПНО (ХНО), як і інші індустриальні об'єкти, проектувалися із стійкістю до руйнування згідно з максимальною зональною сейсмічністю (інтенсивністю землетрусів) плюс 3 бали. Абсолютна більшість з них, у відповідності з картою ОСР-78, перебуває у 4–5 бальній зоні (крім Закарпаття, Карпат, Прикарпаття, Придністров'я, Подунав'я та Центрального, Південного і Східного Криму). Відповідно, межею технічної стійкості їх конструкцій є струшування з інтенсивністю 7–8 балів (за незначного рівня їх фізичної зношеності, умовно оціненого нами величиною до 50%). Стійкість значної частини технологічного обладнання і інфраструктури ХНО ще нижча, вони (зокрема трубопроводи) пошкоджуються за інтенсивності струшувань у 6–7 балів.

Якщо взяти до уваги, що величина горизонтального прискорення (провідного руйнівного фактора) зростає вдвічі кожного разу при збільшенні сейсмопоштовху на 1 бал, то вплив зношеності обладнання і конструкцій на рівні понад 50% може бути еквівалентом зростання руйнівної сили землетрусу (для такого об'єкта) на 1 бал.

На нашу думку, імовірність виникнення струшувань інтенсивністю 6–7 балів і більше є провідним природно-антропогенним фактором формування загрози виникнення різного масштабу аварій (НС) із викидом токсичних речовин, що часто ускладнюються вибухами та пожежами. Частота виникнення таких сейсмічних подій задає мінімальну оцінку імовірності зазначених аварій. Якщо для визначення сейсмічної загрози використати карти ЗСР-2004«А», то мінімальна повторюваність в часі таких аварій у зоні максимальної інтенсивності струшувань понад 6 балів становитиме  $2 \cdot 10^{-3}$  на рік (1 раз за 500 років). З іншого боку, НС із викидом токсичних речовин є додатковим фактором ураження персоналу і населення під час сейсмічних подій з інтенсивністю понад 6 балів. Вони спричиняють додатковий ризик життєдіяльності в разі землетрусів такої інтенсивності (в ареалах потенційного хімічного ураження).

Тому масштаб аварій, виникнення вибухів і пожеж, негативні соціально-економічні наслідки НС на ХНО безпосередньо залежатимуть від інтенсивності струшувань на їх промайданчиках та рівня зношеності основних фондів. Для великих ХНО (хімічних виробництв із токсичними речовинами) та незначним рівнем зношеності основних фондів залежність між інтенсивністю сейсмічних струшувань і характером аварійних ситуацій очікується нами близькою до наведеної у табл. 1.

Таблиця 1. Імовірні масштаби аварій на ХНО України за певних рівнів сейсмічної небезпеки (за зношеності основних фондів до 50%)

Сумарна I, балів	Опис аварійної ситуації	Масштаб НС	Соціальні наслідки НС
6–7	Одиничні розриви стиків технологічних трубопроводів, відмови обладнання	Локальні, в межах промайданчика	Персонал: постраждали, окремі жертви
7–8	Масові розриви стиків трубопроводів (продуктопроводів), відмови запорної арматури, пожежі	Вихід за межі промайданчика	Персонал: багато постраждалих, десятки жертв Населення: постраждали на прилеглих територіях, окремі жертви
8–9	Розвиток проникних тріщин у резервуарах з хімікатами та викиди токсичних сполук, руйнування несучих конструкцій, пожежі і вибухи	Ураження прилеглих територій і населення	Персонал: багато постраждалих і жертв Населення: багато постраждалих, десятки жертв
понад 9	Руйнування наземних і підземних трубопроводів, резервуарів, просторові викиди токсичних сполук, обрушення конструкцій, пожежі і вибухи	Максимальна розрахункова аварія	Персонал і населення: тисячі постраждалих, сотні жертв

За фізичної зношеності основних фондів у 50–80% – максимальна розрахункова аварія стає імовірною за 8–9 бальних землетрусів. За зношеності у понад 80% – за 7–8 бальних землетрусів. Згідно із даними Держстата у 2010 р. ступінь зношеності основних засобів всього по промисловості в Україні становив 63%, по переробній промисловості, до якої належать найбільші ХНО, ще більше – 66,8% [8, с. 91]. Виходячи з цього, припускаємо, що *максимальна розрахункова аварія на ХНО* в умовах сучасної України в середньому має відбуватися в разі реалізації понад 8-бальних струшувань на їх промислових майданчиках.

**Нашою метою** було здійснення регіональної оцінки сукупного сейсмічного ризику руйнування хіміко-небезпечних ПНО (ХНО) з урахуванням його приросту (понад зональний) під впливом інженерно-сейсмогеологічних умов та оцінки потенційних втрат від імовірних аварій на таких ПНО внаслідок вибухів, пожеж та викидів отруйних речовин.

### 3. Регіональна оцінка сукупного сейсмічного ризику в Україні

У якості інформаційних першоджерел для регіональної оцінки сукупного сейсмічного ризику в процесі нашого дослідження були оцифровані тематичні карти зональної сейсмічності (ЗСР 2004«А») [11], карти інженерно-геологічних чинників приросту сейсмічності за версією проф. А.В. Лущика [9], топооснова 1:200000, прив'язані до неї бази даних: кількості населення по населених пунктах України (згідно з переписом 2001 р.), ПНО (всі категорії, 2004 р.), списку ХНО (підготованого нами станом на початок 2014 р.).

Основний метод дослідження – ГІС аналіз. Для його здійснення у середовищі ГІС ESRI ArcMap 9.3(10.0) на топооснові 1:200000 нами було *створено картографічні моделі*: ареалів *фонового сейсмічного ризику* за різні періоди спостереження (у зоні понад 5 балів); ареалів *загального приросту сейсмічного ризику* через місцеві інженерно-геологічні умови з урахуванням антропогенного фактору їх активізації; ареалів *антропогенної складової приросту* цього ризику. На основі поєднання цих картографічних моделей та картометричного аналізу визначено:

1) *максимальну оцінку сукупного сейсмічного ризику* – зональна сейсмічність плюс розрахунковий загальний приріст сейсмічності за версією проф. А.В. Лущика (за нижньою межею градацій шкали приросту);

2) *мінімальну оцінку сукупного сейсмічного ризику* – зональна сейсмічність плюс її розрахунковий антропогенний приріст за версією проф. А.В. Лущика (за нижньою межею градацій шкали приросту), імовірність відповідних землетрусів на рік –  $2,0 \cdot 10^{-3}$ ; із визначенням відповідних ареалів, населених пунктів, населення та ПНО, що туди потрапляють.

Максимальна оцінка сукупного сейсмічного ризику відносить до ареалу сукупної сейсмічності  $\geq 7$  балів понад 88% усіх ПНО і понад 90% всього населення дослідженої території (ще більше в Південному та Західному регіонах і в Криму). Це у понад 5 разів більше зонального ризику для такого рівня сейсмічності. На нашу думку, це є ознакою *завищення поширеності і рівня загального приросту* сейсмічності в регіональних оцінках А.В. Лущика. Мінімальна оцінка сукупного сейсмічного ризику відносить до ареалу сукупної сейсмічності  $\geq 7$  балів до 30% усіх ПНО та всього населення дослідженої території. Це у 1,5–1,9 разу більше зонального ризику для такого рівня

сейсмічності і становить 1/3 від максимальної оцінки. Мінімальна оцінка демонструє значно більші регіональні відмінності розрахункового ризику, ніж максимальна.

Як зазначається зокрема у ДБН В.1.1-12:2006 [11], *місцева руйнівна сила землетрусу* залежить, крім енергії поштовху, від *рельєфу* місцевості, *властивостей гірських порід*, які її складають (літологічного складу ґрунтів), та *водного режиму*. На ділянках, складених крихкотілими водонасиченими ґрунтами, сейсмічне прискорення може бути у 1,5–2 рази більшим, ніж на тих ділянках, де залягають щільніші ґрунти. Тому сейсмічну інтенсивність майданчика будівництва рекомендується визначати з урахуванням сейсмічного мікрорайонування, що виконується для районів із сейсмічністю понад 6 балів.

Однак наведене не вичерпує усіх факторів, що формують сейсмічний ризик для хіміко-небезпечних ПНО. Необхідність аналізу особливостей сучасних природних гідрогеологічних, інженерно-геологічних та сейсмологічних умов обумовлена тим, що після регіональної активізації підтоплення земель (починаючи з 1979–1981 рр.), значною мірою пов'язаною з масштабним регулюванням поверхневого стоку в Україні, відбулося *3–5-кратне збільшення кількості зсувних, карстово-провальних, просадкових* та інших небезпечних екзогенних геологічних об'єктів (проявів) [12], в першу чергу в межах промислово-міських агломерацій (ПМА) та гірничо-видобувних районів (ГВР).

Аналіз результатів досліджень регіональних змін геосистем у більшості регіонів України свідчить про великі неоднорідності ґрунтових умов ГС (інженерно-геологічних, гідрогеологічних, ландшафтно-геохімічних та ін.). Верхня частина геологічного розрізу більшої частини території, охопленої нашим дослідженням, складена товщею пухких осадових переважно лесових та лесово-суглинистих просадкових порід, які в сучасних умовах відзначаються активними змінами фізико-механічних властивостей. Причому для *типових* інженерно-геологічних ділянок розрахункові прирости сейсмічної інтенсивності дорівнюють  $\Delta I = 0$  балів (приріст щодо зональної сейсмічності згідно з ЗСР-2004).

Винятком є підтоплені ділянки. Для них методом інженерно-гідрогеологічних аналогій Є.О. Яковлевим обґрунтована залежність часу існування напружено-деформованого стану водонасичених порід підґрунтя (підвищеного порового тиску  $t_{nop}$ ) при проходженні сейсмопоштовху (швидкість 1,0–1,5 км/сек) за умов підтоплення фундаментів споруд. Значно більший час існування підвищеного порового тиску порівняно з часом проходження сейсмопоштовху (частка секунди) формує небезпеку виникнення додаткових гідрогеомеханічних напруг при афтершоках, внаслідок чого можливе локальне розрідження порід підґрунтя і розвиток критичних деформацій споруд ХНО.

Час існування первинного підвищення порового тиску в підґрунті з урахуванням геометрії фундаменту в цілому оцінюється за наступною залежністю:

$$t_{nop} \approx 0,2 b^2 / a_p, \quad (3)$$

де:  $b$  – мінімальний розмір фундаменту в плані, м;  
 $a_p$  – коефіцієнт рівнепроводності водонасичених порід підґрунтя.

$$a_p = k h / \mu; \tag{4}$$

де:  $k$  – коефіцієнт фільтрації порід підґрунтя, м/добу;

$h$  – товщина шару ґрунтових вод, м;

$\mu$  – коефіцієнт водовіддачі (пористість) порід ґрунтового горизонту.

Для супісчано-суглинистих різностей  $t_{пор}$  становить 1–10 діб.

#### 4. Сейсмічний ризик для ХНО в Україні та імовірні наслідки його реалізації для життя і здоров'я населення

Сукупний сейсмічний ризик розглядається нами як *основний природно-антропогенний фактор виникнення крупномасштабних техногенних аварій* із викидом токсичних речовин в умовах регіонального погіршення інженерно-геологічних умов експлуатації будівель і лінійно-напружених інженерних мереж в Україні (нафто-газопроводи, залізниці, мости та інше).

Ареали сукупної сейсмічності у 7–8, 8–9 і понад 9 балів в умовах понад 60% зношеності основних фондів можуть інтерпретуватися, відповідно, як: зони імовірних розривів стиків трубопроводів, відмов запорної арматури та пожеж; руйнування конструкцій, тріщин в резервуарах, пожеж і вибухів; руйнування резервуарів, обрушення конструкцій, пожеж і вибухів (максимальна розрахункова аварія на ПНО).

Узагальнені напівкількісні співвідношення руйнівних землетрусів та значень критичної зношеності обладнання ПНО наведені у табл. 2. З неї та рис. 1 випливає, що зв'язок між ними може бути апроксимований лінійною залежністю вигляду:

$$S = 170 - 13,3 I, \quad (5 \leq S \leq 9),$$

де:  $S$  – критична (щодо руйнування) фізична зношеність обладнання, %;

$I$  – значення сумарної бальності, бали МСК-64.

Відповідно, у досліджених регіонах нами ідентифіковані хіміко-небезпечні ПНО (ХНО), що потрапляють у зони загального сейсмічного ризику 7–8, 8–9 і понад 9 балів (у двох варіантах: мінімальна і максимальна оцінки).

Таблиця 2. Орієнтовні оцінки руйнівної здатності землетрусів в залежності від фізичної зношеності обладнання ПНО

№№ п/п	Значення сумарної бальності $I$ , бали (МСК-64)	Критична фізична зношеність обладнання $S$ , %	Граничні умови інженерно-сейсмогеологічного впливу
1	5–6	80–90	Сумарний вплив фонових землетрусів та НЕГП (підтоплення, просадковість, зсувоутворення, карст)
2	6–7	70–80	
3	7–8	60–70	
4	8–9	50–60	

Зношеність $S$ , %				
90				
80				
70				
60				
50				
Інтенсивність землетрусу бали, $I$	6	7	8	9

Рис. 1 – Можлива форма залежності між зношеністю обладнання ПНО та руйнівною здатністю землетрусу

Критеріями віднесення до категорії ХНО в нашому дослідженні, крім характеристики галузі та виду основної небезпеки, зазначених у паспорті об'єкта [13, с. 7–8], є фізична наявність на його території запасів токсичних речовин.

Нами виділена окрема категорія *найбільш небезпечних для населення хіміко-небезпечних ПНО* (ННН ХНО) в разі максимальної розрахункової аварії із викидом отруйних речовин. На нашу думку, до цієї категорії належать ті ХНО, де зберігаються значні запаси летючих токсичних речовин (хлору, аміаку, фтору, СО тощо) або в разі вибухів і пожеж імовірно утворення значних обсягів токсичних чи їдучих аерозолів (зокрема сумішей концентрованих кислот). Зазначені *сильнодійні отруйні речовини* (СДОР) швидко поширюються в повітрі і отруюють переважно через органи дихання (респіраторно). Залежно від обсягів зберігання летючих токсикантів ННН ХНО поділені нами на дві групи: більш небезпечні (десятки і більше тонн зберігання) і менш небезпечні (кілька тонн зберігання). Для першої групи умовно приймається, що смертельне ураження імовірно у 1-км радіусі від центра викиду, для другої групи – у 0,2-км радіусі.

У досліджених регіонах нами попередньо ідентифіковано 473 ХНО (11,5% від усіх ПНО за списком 2004 р.), з них: 240 ННН ХНО (5,9%), у т.ч. першої групи – 101 (2,5%), другої групи – 138 (3,4%). Засобами ГІС визначена кількість населення, що потрапляє, відповідно, у 1-км та 0,2-км зони навколо них.

Абсолютна більшість ХНО розміщена у найменш сейсмічно активному з досліджених Східному регіоні (понад 72% від усіх врахованих). Там же розміщено майже дві третини (60,8%) ННН ХНО і більше третини (37,6%) найнебезпечніших з них (віднесених нами до першої групи). 28,7% найнебезпечніших ХНО розташовано в Західному регіоні і 25,7% – в Криму. Найменше ХНО у Південному регіоні, однак це благополуччя уявне, там розміщені такі небезпечні гіганти, як Одеський припортовий завод (м. Южне) та магістральний аміакопровід до нього, який, крім іншого, перетинає р. Дніпро – головне джерело питно-господарського постачання в Україні.

Згідно з *максимальною оцінкою сукупного сейсмічного ризику* більшість врахованих в нашому аналізі ХНО потрапляє у небезпечні щодо їх руйнування

зони: понад 7 балів – 70%, понад 8 балів – 60%, понад 9 балів – 40%. Частка локалізації ХНО в цих зонах зростає із зростанням рівня їх небезпечності. Так, для найнебезпечніших ХНО, відповідно на: 87%, 80% і 61%. Зазначена тенденція стосується всіх досліджених регіонів, причому найбільшою часткою локалізації ХНО у сейсмічно небезпечних щодо руйнування зонах відзначаються Південний регіон та Крим (найменшою часткою – Східний регіон). Однак саме у Східному регіоні опинилася найбільша кількість ХНО, що за максимальною оцінкою потрапляє у сейсмічно-небезпечні зони: понад 7 балів – 202 (43%), 8 балів – 167 (35%), 9 балів – 109 (23%).

Слід зауважити, що значне підвищення інженерно-сейсмогеологічного ризику у Східному регіоні може мати місце в першу чергу при знятті з експлуатації шахт, внаслідок різкої активізації природно-техногенних чинників у зонах підйому рівнів підземних вод. Як свідчить виконаний аналіз, при цьому відбуватиметься комплекс небезпечних процесів: осідання поверхні, сейсмогідрогеодинамічні поштовхи (техногенні землетруси), формування ділянок підтоплення та затоплення.

За максимальною оцінкою до зони *імовірного хімічного ураження респіраторним шляхом* через сейсмічно обумовлені аварії на ХНО (тих, де зберігаються летючі токсиканти) потрапляє понад 608 тис. осіб (156 населених пунктів), переважна більшість – у Західному і Східному регіонах (населення – 38 і 36%, населених пунктів – 23 і 41%, відповідно). Для максимальної оцінки характерне відносно незначне зменшення імовірної кількості ураженого населення із зростанням сейсмічного ризику. У понад 8-бальній зоні (гарантованого руйнування) зменшення лише на 3,4%, а у понад 9-бальній (максимальної аварії) – на 26,5%. На нашу думку, це є свідченням завищеності максимальної оцінки.

Згідно з *мінімальною оцінкою сукупного сейсмічного ризику* у небезпечні щодо руйнування зони потрапляє абсолютна меншість врахованих в нашому аналізі ХНО: понад 7 балів – до 18%, понад 8 балів – до 6%, понад 9 балів – до 1%. Це у 4, 10 і 40 разів менше, ніж згідно з максимальною оцінкою, відповідно. За мінімальною оцінкою частка локалізації ХНО у зонах сейсмічної небезпеки зростає із зростанням рівня їх небезпечності значно менше, ніж за максимальною оцінкою (для найнебезпечніших ХНО, відповідно на: 45%, 17% і 3%). Найбільшою часткою локалізації ХНО у сейсмічно небезпечних щодо руйнування зонах за мінімальною оцінкою відзначаються Крим (до 85%) та Західний регіон (69%). У цих регіонах розміщена найбільша кількість ХНО, що потрапляє у зону понад 7 балів – 71 (84%). Всі ХНО, що потрапляють у зону понад 9 балів, розміщені на півдні: 3 – в Криму та 1 – в Південному регіоні. У Криму також розміщено 81% тих ХНО, що потрапляють у зону понад 8 балів. Показово, що за мінімальною оцінкою в Східному регіоні немає жодного ХНО, який потрапляє до зон небезпеки руйнування через сейсмічний фактор (в умовах України з урахуванням понад 60% зношеності основних фондів це – понад 7 балів).

За мінімальною оцінкою до зони *імовірного хімічного ураження респіраторним шляхом* через сейсмічно обумовлені аварії на ХНО (тих, де зберігаються летючі токсиканти) потрапляє до 280 тис. осіб (65 населених пунктів), більшість цього населення – у Західному регіоні (59%), тоді як населених пунктів – у Криму (до 51%). Для мінімальної оцінки характерне експоненційне зменшення імовірної кількості ураженого населення із зростанням сейсмічного

ризик. У понад 8-бальній зоні (гарантованого руйнування) спостерігається зменшення (порівняно із 7-бальною зоною) – у майже 5 разів, а у понад 9-бальній (максимальної аварії) – у понад 68 разів. На нашу думку, така нелінійність є аргументом на користь адекватного відображення саме мінімальною оцінкою природних тенденцій розподілу сукупного сейсмічного ризику у часі і просторі (нелінійних за визначенням). Водночас отримані у цьому варіанті кількісні значення сукупного сейсмічного ризику руйнування ХНО та наслідків спричинених цим аварій із викидом летючих токсичних речовин, на нашу думку, є заниженими.

На нашу думку, вищезазначені відмінності площ ареалів сейсмічного ризику обумовлені значною невизначеністю інженерно-геологічного стану та геодинамічного режиму верхньої зони літосфери, а також недосконалістю сучасного моніторингу НЕГП.

Зрозуміло, що в ареали зонального сейсмічного ризику згідно з ЗСР 2004«А» потрапило менше ПНО та ХНО, ніж у однакові за бальністю ареали сукупного сейсмічного ризику. Так, у понад 8-бальному ареалі в усіх досліджених регіонах згідно з максимальною оцінкою сукупного ризику кількість ХНО більше у 15 разів, згідно з мінімальною оцінкою – на 50%. У понад 7-бальному ареалі – більше у 5,7 разу і на 47%, відповідно. Кількість найнебезпечніших ХНО у понад 8-бальному ареалі за максимальною оцінкою більше в 7,5 разів, а за мінімальною – на 64% (у понад 7-бальному ареалі – більше в 2,3 разу і на 15%, відповідно).

За максимальною оцінкою сукупного ризику імовірна кількість ураженого населення внаслідок аварій на ННН ХНО із викидом токсичних речовин в атмосферу в понад 8-бальному ареалі збільшилася щодо зонального ризику у 16 разів, за мінімальною оцінкою – на 63% (у понад 7-бальному ареалі – у 2,8 разу та на 30%, відповідно).

За мінімальною оцінкою найбільші прирости імовірної кількості ураженого населення внаслідок аварій на ННН ХНО із викидом токсичних речовин в атмосферу очікуються у Південному регіоні в понад 8-бальному ареалі (у 30 разів більше щодо зонального сейсмічного ризику). У понад 7-бальному ареалі – у Західному регіоні (на 46% більше).

За мінімальною оцінкою у зону максимальної аварії (понад 9 балів) потрапило лише 3 ННН ХНО із невеликою кількістю потенційно ураженого населення (склад отрутохімікатів, аміачна холодильна установка та склад хлору, розміщені у сільській місцевості Криму). У зону гарантованого руйнування (понад 8 балів) – 21 об'єкт, розташований в Південному регіоні та Криму. Але все це – так само склади отрутохімікатів, аміачні холодильні установки та склади хлору із відносно невеликими запасами летючих отруйних речовин (кілька тонн). Тому й населення, потенційно уражене від аварій на всіх таких ХНО, не досягає 50 тис. Більш небезпечні хімічні гіганти із великими запасами летючих токсикантів (інколи десятки і сотні тисяч тонн), такі як Одеський припортовий завод (Південний регіон), Армянський ДАК «Титан», Красноперекоське ВАТ «Бром» (Крим), ТОВ «Карпатнафтохім» та інші хімзаводи Західного регіону потрапили у 7-бальну зону можливого руйнування.

Лише за максимальною оцінкою Східний регіон потрапляє у зону імовірного ураження населення внаслідок аварій на ННН ХНО із викидом токсичних речовин в приземний шар атмосфери через активізацію сейсмічного



фактора. Однак в умовах затяжного конфлікту з Росією, що стартував у березні 2014 р., причиною зазначених аварій в цьому регіоні з на порядки більшою імовірністю, ніж така для реалізації сейсмічних подій, може бути воєнно-політичний фактор. Воєнні дії здатні спричинити значні струшування ґрунтів та руйнівні деформації конструкцій. Через концентрацію вкрай небезпечних ХНО (діючих і зупинених хімічних підприємств, полігонів токсичних відходів) в умовах наявності гірничих виробок, зон зрушень та просадок над ними, в особливій небезпеці щодо цього перебуває м. Горлівка.

Точніший розрахунок зон і наслідків ураження від імовірних аварій з викидом токсичних речовин на ННН ХНО (як ризиків життєдіяльності) можливий на об'єктовому рівні із врахуванням характеру аварії (зокрема обсягу і речовини викиду), пори року, синоптичних умов, захищеності й інформованості персоналу і населення, соціально-демографічної ситуації. Ці та інші параметри можуть бути задовільно враховані, наприклад, програмними засобами геоінформаційної системи «Хмара» [14, с. 10].

У комплексі регіональних змін інженерно-сейсмогеологічних умов на території України відзначається також зростання впливу чинників глобальних змін клімату (ГЗК): потепління, зростання кількості і нерівномірності опадів, збільшення висоти та частоти повеней і паводків. Саме з ними переважно корелює подальший розвиток НЕГП в часі. З висновків міжнародного комітету GEOCHANGE (2009 р.) випливає, що збільшення за останні 15–20 рр. кількості руйнівних землетрусів, повеней, цунамі, селе-зсувних процесів є значною мірою проявом геоенергетичних чинників ГЗК.

Подальшому зростанню площ потенційного руйнівного впливу землетрусів на території України, на наш погляд, може сприяти:

- зменшення міцності лесових та лесово-суглинистих просадкових порід, які займають до 65–70% площі держави (Східний, Центральний, Причорноморський регіони), що відбувається внаслідок активізації факторів ГЗК;
- зниження дренажного впливу річкової мережі, регіональний рівень зарегулювання якої (включно з каскадом Дніпровських водосховищ) перевищує 70%, що посилює вплив факторів ГЗК на подальше поширення підтоплення;
- прискорене старіння житлових і промислових будівель у містах і селищах, до 60% території яких підтоплені внаслідок комплексного впливу чинників ГЗК та аномальних водних втрат (до 35–45% і більше) з водопровідно-каналізаційних та теплоенергетичних мереж, внаслідок чого можливе вилугування розчинних сполук із порід підґрунтя та формування ділянок агресивних до бетону та металу вод.

З наших попередніх оцінок випливає, що у зв'язку із триваючим збільшенням енергетики процесів, подальша активізація ГЗК та зростання сейсмічності охопить в межах України практично всі геологічні структури та річкові басейни. В особливій небезпеці щодо цього перебувають прибережно-морські території, де, крім іншого, відбуватиметься підвищення рівня моря, збільшення енергії хвиль та динаміки абразійної переробки берегів.

Такий прогноз є додатковим аргументом на користь прискорення наукового, нормативно-правового та технологічного удосконалення моніторингу довкілля як необхідної складової комплексу заходів із запобігання НС в Україні, зокрема інженерно-сейсмогідрогеологічного походження.

## Висновки

1. Першим (найбільш активним) з основних факторів зростання сейсмічного ризику в Україні є техногенна активізація водо-енергообміну у верхній зоні геологічного середовища та викликане цим поширення НЕГП (зсувів, карсту, просядок, розжиження ґрунтів, розривних порушень), спричинених в першу чергу антропогенним підтопленням, що набуло регіональних масштабів в умовах глобальних змін клімату (потепління, збільшення кількості і нерівномірності опадів, висоти і частоти повеней і паводків). Для перезволожений ділянок у водочутливих, слабопроникних та просядкових лесових та лесово-суглинистих ґрунтах за глибини рівня ґрунтових вод до 2 м приріст сейсмічності за існуючими моделями становить 1 бал і більше.

2. Другим (пасивним) фактором є те, що на територіях із відносно низьким рівнем природної сейсмічної небезпеки, до яких належить переважна частина території України, більшість споруд проєктують не сейсмостійкими, внаслідок чого вони є потенційно сейсмічно уразливими.

3. Третім (активним) фактором є значна і зростаюча зношеність основних фондів виробничої, комунальної та транспортної інфраструктури, що, у свою чергу, в умовах зменшення несучої здатності порід підґрунтя, зменшує сейсмостійкість більшості таких споруд в середньому до рівня сумарного сейсмострушування не вище 7–8 балів.

4. У зазначених умовах навіть невеликі землетруси супроводжуються зсувами, просядками, обвалами та іншими НЕГП, що може спричинити тяжкі матеріальні і соціальні наслідки. Зокрема, підвищується імовірність виникнення аварій з викидом токсичних речовин на хіміко-небезпечних ПНО (ХНО), межею технічної стійкості конструкцій і технологічного обладнання яких є струшування з інтенсивністю 7–8 балів. Відповідно зростає рівень ризику ураження населення цим додатковим фактором.

5. Для великих ХНО (хімічних виробництв із токсичними речовинами) та незначним (до 50%) рівнем зношеності основних фондів максимальна розрахункова аварія із масштабним викидом токсичних речовин очікується за інтенсивності струшувань понад 9 балів. Збільшення зношеності понад 60% зменшує зазначену порогову інтенсивність щонайменше на 1 бал, тобто суттєво посилює руйнівні наслідки впливу інженерно-сейсмологічного фактора.

6. Антропогенна складова приросту сейсмічного ризику збільшує сукупний сейсмічний ризик понад зональний переважно у діапазоні 0,5–1 балів. Цей діапазон відповідає оцінкам приросту сейсмічної інтенсивності внаслідок впливу природно-техногенних змін інженерно-геологічних умов, здійсненим у складі робіт із сейсмічного мікрорайонування населених пунктів України. Таку мінімальну оцінку сукупного сейсмічного ризику, розраховану на основі антропогенного приросту сейсмічності, найдоцільніше використовувати на об'єктовому рівні для визначення параметрів імовірних аварій на хіміко-вибухопожежонебезпечних ПНО – особливо в разі відсутності даних сейсмічного мікрорайонування.

7. В умовах регіонального погіршення інженерно-геологічних умов експлуатації будівель і інженерних мереж в Україні сукупний сейсмічний ризик може розглядатися не лише як основний природно-антропогенний фактор виникнення крупномасштабних техногенних аварій із викидом токсичних

речовин. Він є наближеною моделлю комплексного врахування впливу природно-антропогенної активізації НЕГП на зменшення геотехнічної стійкості споруд та збільшення їх інженерно-будівельної уразливості до руйнування.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Безпека життєдіяльності (забезпечення соціальної, техногенної та природної безпеки): Навч. посібник / В.В. Бегун, І.М. Науменко. – К.: 2011, – 344 с.
2. Wang Zhenming. Seismic Hazard vs. Seismic Risk // Seismological Research Letters. Vol. 80, N. 5. Opinion, September/October 2009. – P. 673–674.
3. Стефанишин Д.В. Методологія оцінки та врахування сейсмічного ризику при прийнятті рішень (імовірнісний підхід) // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво) / Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Вип. 76. – К.: ДП НДІБК, 2012, ТОВ «Видавництво Сталь», 2012 – 771 с. – С. 199–204.
4. Буднік С.В. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни «Геоecологічний ризик». – Житомир, ДВНЗ Державний агроecологічний університет, Ecологічний факультет. 2007.
5. Лущик А.В., Яковлев С.О. Основні методичні положення інженерно-сейсmологічного районування в умовах інтенсивної господарської діяльності // Інформаційний бюлетень про стан геологічного середовища України у 1998 році. Вип. 17 – К.: Геоінформ, 2000. – С. 134–137.
6. Трофимчук А.Н., Гомилко А.М., Савицкий А.О. Динамика пористоупругих насыщенных жидкостью сред. – К.: Наукова думка, 2003. – 230 с.
7. Старостенко В.И., Кендзера А.В. и др. Киев: геология и геофизика окружающей среды и факторы, неблагоприятно на неё влияющие // Геофизический журнал. – 2001. – № 4. – С. 3–38.
8. Лущик А.В., Лисиченко Г.В., Яковлев Е.А. Формирование режима подземных вод в районах развития активных геодинамических процессов. – К.: Наукова думка, 1988. – 163 с.
9. Звіти УкрГИМП: Провести районування території України на основі виявлених закоромерностей техногенного впливання на інженерно-сейсmологіческие условия. Тема 198, т. 2, 1994, дод.: 1, 9, 16. Разработать методику и провести районування по степени инженерно-сейсmологического риска интенсивно-хозяйственных территорий в м-бе 1:500000 (Донбасс, Кривбасс). Тема 291, т. 2, 1997, дод. 1.
10. Статистичний щорічник України за 2012 рік. – К.: Державна служба статистики України, 2013. – 551 с.
11. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2006. – [Чинний від 2007-01-02].– К.: ДП “Укрархбудінформ”, 2006. – 84 с. – (Національні стандарти України).
12. Биченок М.М., Іванюта С.П., Яковлев С.О. Ризики життєдіяльності у природно-техногенному середовищі / М.М. Биченок, С.П. Іванюта, С.О. Яковлев; Ін-т пробл. нац. безпеки Ради нац. безпеки і оборони України. – К.: ПНБ, 2008. – 160 с.
13. Класифікатор потенційно небезпечних об’єктів. Перша редакція. – К.: МНС України. – 24 с.
14. Кряжич О.О. Моделі автоматизації виконання функцій і задач управління імпульсним вибухопожежним захистом хімічного підприємства. Автореф. канд. дис. Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України. – К.: 2013. – 20 с.

*Стаття надійшла до редакції 09.02.2015*

УДК 538.69.331.45

О.І. ЗАПОРОЖЕЦЬ, Л.О. ЛЕВЧЕНКО

## ЗАСАДИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО МОНІТОРИНГУ МІСТА В УМОВАХ ПІДВИЩЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОВКІЛЛЯ

***Анотація.** Запропоновано концептуальні засади моніторингу електромагнітної обстановки у населених пунктах з урахуванням її динаміки та умов формування, які є підставою для розроблення системи електромагнітного моніторингу. Це дозволить провести інвентаризацію та позиціювання усіх джерел електромагнітних полів і випромінювань, визначити просторові розподіли напруженості полів та потоків енергії від них.*

***Ключові слова:** електромагнітний моніторинг, електромагнітне поле, напруженість, густина потоку енергії, частотний спектр.*

### Вступ

В останнє десятиріччя спостерігається як загальне підвищення електромагнітного фону у населених пунктах, так і зміна його якісного складу. Це обумовлено збільшенням кількості джерел електромагнітних полів і випромінювань та розширенням їх частотних діапазонів, що викликає занепокоєння у суспільстві. Поліпшення електромагнітної обстановки у містах з великою кількістю джерел електромагнітних впливів обумовлює необхідність отримання достовірної та актуальної інформації щодо фактичних рівнів електромагнітних полів і випромінювань, їх динаміки та просторових розподілів. Це надасть змогу розробити адекватні, науково обґрунтовані програми зі зниження електромагнітних впливів на населення та навколишнє середовище.

### Стан проблеми

Поява відносно нових джерел електромагнітних впливів на довкілля – засобів мобільного зв'язку, систем радіомовлення FM-діапазонів та розвиток електричного транспорту спричинили докорінну зміну електромагнітної обстановки у населених пунктах. Особливо це стосується великих міст з розвинутою інфраструктурою. В останні роки моніторингу стану довкілля присвячено багато досліджень та прикладних розробок. Значною мірою це обумовлено орієнтацією України на інтеграцію у Європейську спільноту. Так, в Україні розпочато роботи з імплементації вимог Загальноєвропейської директиви з електромагнітної безпеки населення і працюючих [1]. Невід'ємними складовими цього документа є міжнародні нормативи з електромагнітної безпеки [2, 3], які висувають жорсткі вимоги до гранично допустимих рівнів електромагнітних полів та випромінювань. В той же час, національні норми з електромагнітної безпеки населення [4, 5] певним чином є застарілими і не відповідають потребам сьогодення.

Дослідження щодо впливу на довкілля електромагнітних факторів стосуються зазвичай однотипних джерел. У роботах [6, 7] закладено засади визначення рівнів та поширення електричних та магнітних полів ліній електропередач різних конструкцій. Ґрунтовна праця [8] частково розглядає вплив електричного міського транспорту на формування електромагнітної обстановки, а дослідження [9] – електромагнітне навантаження на територію засобів мобільного зв'язку. Загальним недоліком цих робіт є відсутність комплексного підходу до контролю електромагнітної обстановки.

У дисертаційному дослідженні [10] сформульовано підходи до створення інформаційної бази для досліджень в області екології, але на сьогоднішній день вона мало прийнятна через зміну пріоритетів та технічного обладнання.

У попередніх роботах [11, 12] було закладено сучасні підходи до інформаційного супроводу екологічного моніторингу та його технічної складової, але вони стосуються загальних питань без урахування специфіки формування та динаміки електромагнітної обстановки.

*Метою роботи* є розроблення концептуальних засад моніторингу електромагнітної обстановки у населених пунктах з урахуванням її динаміки та умов формування.

Особливістю формування електромагнітної обстановки у населених пунктах є значні відмінності кількісного та якісного складу джерел електромагнітного забруднення в залежності від загальної кількості населення, роду діяльності промислових підприємств, наявності електричного транспорту, засобів бездротового зв'язку тощо. При цьому має місце певне протиріччя між забезпеченням екологічних вимог та стабільністю функціонування інфраструктури, комфортністю населення і т.ін. Тобто, розвиток електричних мереж та мереж зв'язку має певні негативні наслідки для населення.

Очевидно, що стабільний стан екосистеми вимагає здійснення неперервного системного контролю стану навколишнього середовища, складовим якого є електромагнітний моніторинг. Як у побуті, так і у виробничих умовах людину оточують різноманітні технічні засоби, які генерують електромагнітні поля з різними просторово-часовими характеристиками. При цьому для одних технічних засобів генерація електромагнітних полів є наслідком їх функціонального призначення, для інших – побічним явищем. Проте в обох випадках вони є фактором електромагнітного забруднення середовища.

У загальному випадку електромагнітний моніторинг складається з трьох напрямів:

- розрахункові методи визначення та прогнозування електромагнітної обстановки на певній території, у окремі будівлі тощо. Найбільш ефективним методом є метод моделювання поширення та часових змін електромагнітної обстановки, який дозволяє здійснювати «накладання» полів різних частот з урахуванням гранично допустимих рівнів для кожної частоти (діапазону частот);

- натурні вимірювання рівнів електромагнітних полів і випромінювань різних об'єктів під час їх експлуатації;

- розроблення комплексу заходів та рекомендацій з поліпшення (нормалізації) електромагнітної обстановки.

Однчасне забезпечення ефективності функціонування та безпечності технічних засобів, які є джерелами електромагнітних випромінювань на окремій території та в окремому населеному пункті, є актуальною економічною задачею. Від адекватності підходів до її вирішення залежить ефективність впровадження господарських, інвестиційних та комерційних проєктів, у яких зацікавлене населення. При цьому слід усвідомлювати, що досягнення повної електромагнітної безпеки принципово неможливе. Тому метою робіт з електромагнітного моніторингу та прогнозування електромагнітного навантаження на довкілля повинна бути оптимізація (раціоналізація) топології розміщення технічних засобів (в основному – радіотехнічних об'єктів) з урахуванням щільності та середньої поверховості житлової забудови, наявності зелених насаджень, водоймищ тощо.

За метою та спрямованістю можна виділити такі типи електромагнітного моніторингу:

1. Моніторинг, який має на меті оцінювання санітарно-гігієнічних параметрів довкілля. Він регламентується чинними санітарними нормами із захисту населення від впливу електромагнітних полів та випромінювань. Його доцільно проводити на стадіях проєктування об'єктів та підприємств, які є потенційними джерелами електромагнітного забруднення певної території. За результатами розрахунків та моделювання поширення випромінювань здійснюється оцінювання їх рівнів на критичних відстанях. Наприклад, усі параметри базових станцій мобільного зв'язку, що використовуються в Україні, є відомими. Це діаграми спрямованості, азимутальні кути, потужності випромінювання тощо. Виходячи з цього, можна досить точно спрогнозувати електромагнітну обстановку у межах впливу як однієї, так і кількох станцій.

Слід спростувати поширену думку про намагання операторів мобільного зв'язку розміщувати на територіях якомога більшу кількість базових станцій та підвищувати їх потужності. Розміри зони обслуговування однієї станції обумовлюються тільки необхідною якістю зв'язку. При цьому якість зв'язку визначається часом його встановлення, а не потужністю випромінювання. Усі базові станції працюють з номінальною потужністю: її підвищення призводить до нештатних режимів роботи та небажаного впливу одного випромінювача на інший. Висока вартість базових станцій та їх обслуговування обумовлює намагання усіх операторів оптимізувати схему їх розміщення.

2. Територіальний електромагнітний моніторинг охоплює, як правило, великі площі населених пунктів (або усю їх територію) і включає контроль за емісією великої кількості різномірних джерел полів та випромінювань різних частотних діапазонів. При цьому враховується не тільки просторове розташування таких об'єктів (рознесення по території), а й рельєф поверхні та особливості забудови. Результатом такого моніторингу є аналіз електромагнітної обстановки з оцінювання внеску усіх джерел полів та випромінювань. Такий моніторинг дає також інформацію для оцінки (прогнозування) перспектив і можливостей розвитку електричних мереж та засобів зв'язку.

3. Інформаційно-орієнтований моніторинг має на меті подолання страхів і фобій у населення щодо підвищення насиченості населених пунктів різноманітними радіотехнічними об'єктами. Поінформованість громадськості про фактичні рівні електромагнітного навантаження на довкілля сприяє зниженню соціальної напруженості. Наприклад, мобільний зв'язок стабільно

функціонує за потужності сигналу  $0,08 \text{ мкВт/см}^2$ . Населення повинне знати, що в Україні гранично допустимий рівень випромінювання цих частот складає  $2,5 \text{ мкВт/см}^2$ , а у країнах Євросоюзу –  $10 \text{ мкВт/см}^2$ .

4. Важливою складовою електромагнітного моніторингу є оперативний моніторинг. Його необхідність обумовлена складною динамікою електромагнітної обстановки. Вона залежить від фактичних навантажень на силову електромережу, яка значною мірою обумовлюється порою року, днем тижня тощо. При цьому слід орієнтуватися на номінальні або пікові навантаження. Це стосується засобів зв'язку, випромінювальні спроможності яких залежать від орієнтації та будівельних матеріалів споруд, атмосферних умов тощо. Оперативний контроль здійснюють як власники технічних засобів, так і уповноважені державні установи, а також органи місцевого самоврядування.

Практична реалізація системи моніторингу електромагнітної обстановки у населеному пункті повинна починатися з обліку усіх джерел електромагнітних полів та випромінювань з чітким визначенням їх розташування на території. При цьому критичною (важливою) є градація цих джерел за розмірами та характером емісії.

За розмірами усі джерела можна розділити на дві групи:

– джерела, локалізовані у просторі (засоби радіомовлення та телебачення, базові станції мобільного зв'язку, засоби керування повітряним рухом цивільної авіації, трансформаторні підстанції, відкриті розподільчі пристрої електрозабезпечення);

– розподілені джерела (повітряні лінії електропередач, підземні кабельні лінії, контактна мережа електротранспорту).

За характером емісії доцільно розділити джерела електромагнітних полів та джерела випромінювань:

– джерела електромагнітних полів промислової частоти та стаціонарні магнітні поля (усе обладнання електропостачання та електричного транспорту);

– джерела електромагнітних випромінювань (радіотехнічні об'єкти різного призначення).

Наступним етапом є фактичне визначення інтегрального електромагнітного навантаження на довкілля. Не дивлячись на можливість моделювання просторових розподілів полів та поширення випромінювання, виходячи з фундаментальних співвідношень електродинаміки, практична його реалізація потребує великих обсягів вихідних даних. Їх отримання можливе виключно за рахунок натурних вимірювань. При цьому абсолютно необхідні заміри у різні дні тижня та пори року. Наприклад, у вихідні дні, особливо у теплу пору року, навантаження на лінії електропередач знижується, що має наслідком кількаразове зниження рівнів магнітних полів промислової частоти. У холодну пору року, у робочі дні ситуація протилежна.

Реалізація системи моніторингу потребує організації і здійснення інформаційного супроводу, тобто раціоналізації інформаційних потоків з наявністю зворотних зв'язків, підтримання бази в актуальному стані і т.ін. Загальну схему здійснення електромагнітного моніторингу наведено на рис. 1.

Пропонована схема дозволяє розв'язувати наступні задачі моніторингу:

- виявлення джерел електромагнітного впливу на довкілля;
- контроль кількісних значень електромагнітних полів та випромінювань;
- неперервне спостереження за станом довкілля і змінами, що відбуваються у ньому під впливом електромагнітного фактора;
- комплексна оцінка фактичного стану довкілля;
- прогнозування змін електромагнітної обстановки і оцінка її прогнозованого стану;
- регламентація і автоматичне реагування на несприятливі зміни (тенденції) у електромагнітному навантаженні на довкілля;
- впровадження організаційно-технічних заходів з нормалізації електромагнітної обстановки.

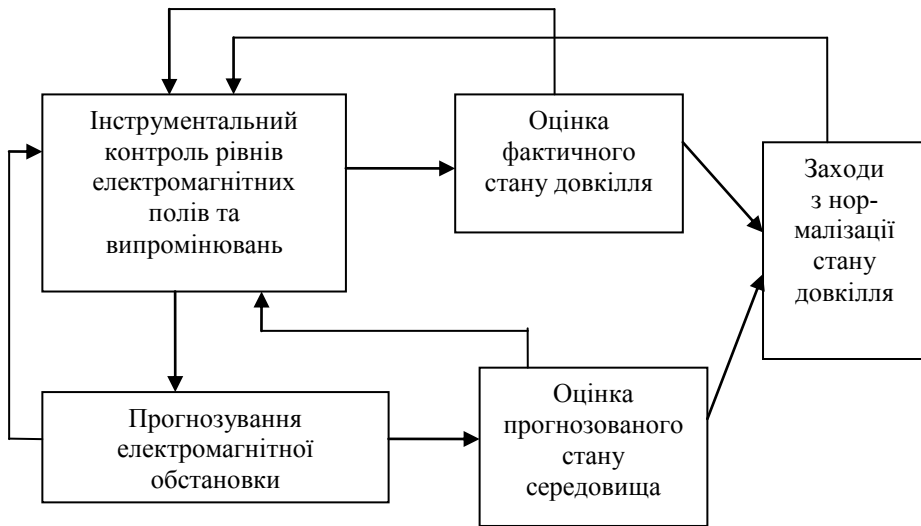


Рис. 1 – Загальна схема автоматизованої системи моніторингу електромагнітної обстановки

Як прив'язку до місцевості джерел електромагнітних полів та випромінювань, так і надання даних про рівні електромагнітного навантаження на території доцільно здійснювати з використанням геоінформаційних технологій. Необхідним уявляється проектування сучасної бази даних, за допомогою якої може здійснюватися візуалізація інформації з урахуванням динамік змін електромагнітної обстановки. Вільний доступ громадян до актуалізованих даних щодо фактичного стану довкілля, поінформованість про нормативи (національні та міжнародні) з гранично допустимих рівнів електромагнітних полів усіх частотних діапазонів сприятиме зниженню упередженості населення та розвитку міської інфраструктури.

Вирішення розглянутих задач можливе тільки за умови наявності сучасного технічного та методичного забезпечення. На сьогоднішній день усі прилади для вимірювання рівнів електромагнітних полів та випромінювань, рекомендовані нормативом [4], технічно і морально застарілі. Фактично в усіх



дослідницьких роботах, що виконуються в Україні у цьому напрямі, використовуються прилади і обладнання, які не мають офіційного статусу, але забезпечують належний науковий рівень. Це ж стосується методик проведення електромагнітного моніторингу. Чи не єдиною вимогою під час проведення вимірювань є визначення рівнів електромагнітних полів на висоті 1,8 м від поверхні землі та унеможливлення викривлення поля присутністю людини. При цьому не враховується зміна електромагнітної обстановки з висотою над поверхнею землі, що особливо актуально для міст зі значною середньою поверховістю житлових та промислових будівель, вплив на рівень електромагнітних полів та випромінювань масивних металевих конструкцій та відбивальних поверхонь, підземних комунікацій різного призначення тощо. На нашу думку, технічна та методична складова електромагнітного моніторингу повинні бути викладені в окремому нормативному документі у формі, яка виключає різночитання та унеможливує виникнення конфліктних ситуацій формального характеру.

## **Висновки**

1. Об'єктивне підвищення електромагнітного навантаження на довкілля, особливо у великих населених пунктах, розширення частотного спектра електромагнітних полів, генерованих сучасним електричним та електронним обладнанням, обумовлює необхідність розроблення та впровадження системи електромагнітного моніторингу.

2. Реалізація такої системи виконується за певним алгоритмом, який включає інвентаризацію та позиціонування усіх джерел електромагнітних полів та випромінювань, визначення просторових розподілів напруженості полів та потоків енергії від них, накопичення інформації у базі даних.

3. Розміщення джерел електромагнітних полів та випромінювань, зони їх впливів з наданням кількісних даних для окремих електричних і радіотехнічних об'єктів, інтегральні дані доцільно реалізовувати з використанням геоінформаційних технологій.

4. Візуалізовані дані щодо електромагнітної обстановки певних об'єктів повинні бути у відкритому доступі для громадян, що дозволить знизити певну упередженість людей щодо впливу на них електромагнітних полів. Така відкритість сприятиме розвитку енергетичної, транспортної та інформаційної інфраструктури населених пунктів.

## **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields). – <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:179:0001:0021:EN:PDF>.
2. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)/-International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. // Health Physics, 1998. – № 74. – P. 494–522.
3. Standard of Building Biology Testing Methods: SBM–2008 – [acting from July 2008]. – Germany: Institut für Baubiologie +Ökologie IBN, 2008. – 5p. (<http://www.createhealthyhomes.com/SBM–2008.pdf>).

4. ДСН 239-96. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань – [Чинний від 1996-01-08]. К.: МОЗ України, 1996. – 28 с.
5. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. – К.: Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2002. – 59 с. – (Державні санітарні норми України).
6. Dezelak K., Stumberger G., Jak F. Arrangements of Overhead Power Line Conductors // Electric Power Systems Research. – 2011. – Vol. 81. – № 12. – Pp. 2164–2170.
7. Думанський В.Ю. ЛЕП-джерело електромагнітного поля, його гігієнічне значення та нормування в умовах населених місць / В.Ю. Думанський // Гігієна населених місць. – 2010. – Вип. 56. – С. 196–202.
8. Дробыш В.Н. Электромагнитная безопасность элементов энергетических систем / В.Н. Дробыш, М.Ю. Маслов, Ю.М. Сподобаев. – Самара: ООО «Содружество», 2009. – 198 с.
9. Мордачев В.И. Электромагнитная нагрузка на территорию в неоднородной радиоэлектронной обстановке / В.И. Мордачев // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2012. – № 8. – С. 23–31.
10. Шевченко Л.Б. Исследование и разработка современной информационной базы для научных исследований в области экологии: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. пед. наук: спец. 05.25.03 / Л.Б. Шевченко. – Новосибирск, 2006. – 26 с.
11. Левченко Л.О. Інформаційний супровід екологічного моніторингу / Л.О. Левченко, В.А. Глива, В.І. Клапченко, А.Ю. Репко // Науково-технічна інформація. – 2009. – № 1. – С. 16–19.
12. Левченко Л.О. Оцінка економічної складової екологічних досліджень / Л.О. Левченко, С.О. Лук'яненко, С.Г. Карпенко, В.А. Глива // Науково-технічна інформація. – 2009. – № 3. – С. 7–9.

*Стаття надійшла до редакції 15.01.2015*

УДК 504.064.2

Т.І. КРИВОМАЗ

## РАДІАЦІЙНИЙ КОНТРОЛЬ МІКСОМІЦЕТІВ ЛІСОПАРКОВИХ ТЕРИТОРІЙ КИЄВА

***Анотація.** Дане дослідження є вкладом у формування паспорту екологічної безпеки міксоміцетів. В результаті вимірювання потужності амбієнтного еквівалента дози іонізаційного випромінювання виявлена стабільна реакція міксоміцетів лісопаркових територій Києва до дії радіації. Це свідчить про наявність ефективних захисних механізмів у досліджених видів слизовиків, що дозволяє їм пристосовуватись до несприятливих факторів навколишнього середовища і є однією з причин їх широкого розповсюдження. Факторами захисту від руйнуючого впливу радіації на молекулярному рівні у міксоміцетів, як і у грибів, можуть бути вторинні метаболіти. Виявлено, що темноспорові види міксоміцетів, які містять особливу форму меланінових пігментів, більш стійкі до дії радіації, ніж види із сірим, жовтим та червоним забарвленням спорової маси. Окремі види міксоміцетів можуть бути використані для вирішення практичних завдань екологічної безпеки.*

***Ключові слова:** екологічна безпека, радіація, міксоміцети, біоіндикація, паспортизація.*

Радіоекологічна оцінка стану навколишнього середовища відіграє важливу роль в системі екологічної безпеки України, оскільки є одним з параметрів оцінки впливу радіаційного і хімічного факторів на живі об'єкти та екосистеми. Для комплексного аналізу впливу радіації на екосистеми необхідно визначити здатність живих об'єктів накопичувати та випромінювати радіацію. У зв'язку з цим, одним з актуальних завдань екологічної безпеки є дослідження адаптаційних механізмів біосистем до стресових умов навколишнього середовища. Певні живі організми здатні здійснювати процеси детоксикації шкідливих сполук, а також синтез та накопичення активних метаболітів. Відомо, що гриби проявляють унікальну стійкість до радіації шляхом безпосереднього зв'язування або фіксації радіонуклідів [1]. Вони також опосередковано можуть впливати на форму знаходження радіонуклідів в природному середовищі та їх рухливість у ґрунтах та лісовій підстилці [2]. Міксоміцети (слизовики, Mucorales) – це грибоподібні протисти, які поєднують в собі ознаки грибів та тварин. На вегетативній стадії життєвого циклу, що представлена плазмодієм, вони здатні активно пересуватись у ґрунті або всередині детритних субстратів, живлячись мікроскопічними організмами та органічними рештками. В лісовій підстилці та ґрунті слизовики відіграють роль біоконцентраторів, що здатні накопичувати елементи та сполуки в концентраціях, які перевищують їх вміст в навколишньому середовищі [3]. На генеративній стадії міксоміцети утворюють плодові тіла (спорофори) на відмерлій деревині, опалому листі та інших субстратах. Висуваються гіпотези щодо здатності міксоміцетів накопичувати радіонукліди та наявності у цих організмів особливих адаптаційних механізмів захисту проти впливу радіації [4].

У різних структурах міксоміцетів виявлено більше 100 біоактивних вторинних метаболітів [5]. До продуктів життєдіяльності міксоміцетів належить широке коло метаболітів первинного та вторинного обміну, яке включає як прості (органічні кислоти, спирти, цукри та ін.), так і складні (антибіотики, токсини, пігменти та ін.), які виступають в ролі стимуляторів та інгібіторів різноманітних реакцій. Серед них особливе місце займають пігменти, зокрема меланіни. Це високополімерні сполуки, що утворюються при ферментативному окисленні фенолів та/або індолів і надають забарвлення клітинам та тканинам [6]. Розрізняють коричневі та чорні меланіни – сумеланіни, а також жовті – феомеланіни. У багатьох видів меланіни є важливим фактором захисту від несприятливих умов зовнішнього середовища, надаючи змогу пристосовуватись до екстремальних умов існування. Наявність меланінів дозволяє видам існувати в умовах високої інсоляції, УФ-випромінювання, висушування, заморожування, різких перепадів температури, низьких концентрацій органічних речовин, а також високих концентрацій солей, важких металів та радіонуклідів [7].

У грибів підвищення вмісту меланіну є ознакою розвитку протирадіаційного захисного механізму, оскільки відмічено, що під впливом радіації у складі мікобіоти збільшується кількість меланіновмісних видів [8]. Експериментально доведено, що темнозабарвлені спори грибів виявляють стійкість до УФ-випромінювання, в той час як непігментовані форми гинуть протягом кількох хвилин, що пояснюється потужною антиокисною і антирадикальною активністю меланін-глюканового комплексу. Як правило, в екстремальних умовах підвищується співвідношення меланізованих грибів в мікобіоті, наприклад, в повітряному середовищі меланіновмісних спор грибів більше, ніж у ґрунті [9].

Меланінові пігменти виявлені у представників різних груп живих організмів, в тому числі у клітинній стінці спор та інших структурах грибоподібних протистів міксоміцетів [10]. Яскраво-жовтий плазмодій *Fuligo septica* при повільному висушуванні та нестачі поживних речовин перетворюється у склероцій, колір якого може змінюватись від жовтого, помаранчевого до коричневого. Колір залежить від утворення вільних радикалів меланіну, і тільки жовтий склероцій здатен відновлювати свою життєздатність, знову перетворюючись за сприятливих умов у плазмодій [11]. Меланіни характерні не тільки для темноспорових міксоміцетів порядків Physarales та Stemonitales, але й для видів з яскравим забарвленням спор з Liceales та Trichiales. На відміну від меланінів тварин, які належать до однорідної групи, меланіни міксоміцетів дуже різноманітні з точки зору біосинтезу [12].

Дослідження адаптаційних механізмів міксоміцетів допоможе з'ясувати роль меланінових пігментів у захисті від дії стресових факторів. Широке розповсюдження цих організмів та їх вміння пристосовуватись до різноманітних умов навколишнього середовища дозволяє використовувати їх як модельні об'єкти, зокрема для комплексної оцінки радіаційного впливу.

**Мета дослідження.** Метою дослідження є визначення адаптаційних властивостей міксоміцетів до дії радіації шляхом вимірювання потужності еквівалентної дози іонізаційного випромінювання.

**Матеріали та методи.** Матеріалом для дослідження були 100 гербарних зразків, що належать до 30 видів міксоміцетів. Зразком вважають окремі плодові тіла або колонію спорофорів, які колекціонують разом з частиною

субстрату і зберігають у окремому контейнері. Польові дослідження тривали протягом 1994–2014 рр. на території наступних лісопаркових зон м. Києва: національного природного парку «Голосіївський», ландшафтного парку «Лиса гора», Маріїнського парку, Гідропарку, парку «Нивки», парку на Татарці, парку Національного музею народної архітектури та побуту «Пирогів», Святошинського лісу, Пуща-Водицького лісу. Для видової ідентифікації зразків міксоміцетів використовувався визначник «LesMухomycètes» [13]. Вимірювання потужності еквівалентної дози іонізаційного випромінювання проводились в лабораторії кафедри охорони праці та навколишнього середовища факультету інженерних систем та екології Київського національного університету будівництва і архітектури.

Метод вимірювання потужності амбієнтного еквівалента дози (ПАЕД) іонізаційного випромінювання ґрунтується на прямому вимірюванні ПАЕД на поверхні обстежуваних об'єктів [14]. Вимірювання ПАЕД гербарних зразків міксоміцетів проводилось за допомогою дозиметричного приладу SMG-2 в режимі радіометра. Прилад реєструє ПАЕД гамма-, бета- та рентгенівського випромінювання (від 0,01 до 999 мкЗв/год) з енергією гамма-випромінювання (від 0,1 до 1,25 МеВ). На основі даних реєстрації на дисплеї дозиметричного приладу, через 60 секунд після початку виміру, відображається потужність еквівалентної дози гамма-, бета-випромінювання. Детектор розміщують на мінімальній можливій відстані від об'єкту (до 1,0 см), при цьому здійснюється 30 одиничних вимірювань для кожного зразка. Перевагою для використання цього приладу є те, що у процесі вимірювання не пошкоджуються гербарні зразки, а завдяки компактності дозиметра, вимірювання можна проводити індивідуально для кожного гербарного зразка.

При виконанні вимірювань дотримуються вимог радіаційної безпеки відповідно до ДГН 6.6.1-6.5.001-98 «Норми радіаційної безпеки України» НРБУ-97 та ДСП 6Л 77-2005-09-02 «Державні санітарні правила 6. Радіаційна гігієна. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України». Обробку результатів вимірювань ПАЕД гамма-випромінювання виконують згідно з ДСТУ ГОСТ 8.207-2008 [14].

Еквівалентна доза відображає біологічний вплив опромінення на живі організми. По суті, біологічні ефекти, викликані будь-якими іонізуючими випромінюваннями, порівнюються з ефектом від рентгенівського і гамма-випромінювання. Ефективна доза відображає ризик виникнення віддалених наслідків опромінення для живих організмів та окремих їх органів і тканин із врахуванням їх радіочутливості.

$$H_T = \sum_R W_R D_{T,R}, \quad (1)$$

де  $H_T$  – доза в органах чи тканинах живих організмів,  $W_R$  – ваговий коефіцієнт, що відповідає певному виду випромінювання і відображає його здатність ушкоджувати певні тканини чи органи;  $D_{T,R}$  – доза, що поглинута певним органом чи тканиною.

Поняття ефективної дози зрівнює типи іонізуючих випромінювань у плані їхньої потенційної здатності завдати шкоди організму. На жаль, еквівалентна та ефективна дози не можуть бути вимірянні безпосередньо, тому для практичного використання застосовуються операційна дозиметрична величина –

амбієнтна доза. Амбієнтний еквівалент дози ( $H_d$ ) визначається через фізичні характеристики поля випромінювання для практичного визначення ступеня шкоди, яку може заподіяти це випромінювання, тобто є операційним виразом ефективної та еквівалентної дози.

Амбієнтний еквівалент дози  $H_d$  – еквівалент дози, що був би створений в кулі діаметром 30 см з тканиноеквівалентного матеріалу щільністю  $1 \text{ г/см}^3$  на глибині 10 мм від поверхні по радіусу, паралельному напрямку випромінювання, але протилежно йому направленому, в полі випромінювання, ідентичному що розглядається по складу, флюенсу і енергетичному розподілу, але мононаправленому і однорідному. Одиницею амбієнтного еквівалента дози в системі СІ є зіверт, що відображає біологічний вплив іонізуючого випромінювання, на відміну від фізичного, який характеризується поглинутою дозою випромінювання та вимірюється в греях. Один зіверт дорівнює еквівалентній дозі будь-якого виду випромінювання, поглиненої одним кілограмом біологічної тканини, що створює такий же біологічний ефект, як і поглинена доза в один грей рентгенівського або  $\gamma$ -випромінювань:  $3\text{в} = \text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} = \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$  ( $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бер}$ ). Як правило, показники надаються у мілізівертах або мікрозівертах за годину (мкЗв/год). 1мкР/год по біологічній дії приблизно дорівнює 0.01 мкЗв/год.

Потужність еквівалентної дози — це інтенсивність випромінювання, що утворюється за одиницю часу і характеризує швидкість накопичення дози. Потужність амбієнтного еквівалента дози  $H_d$  – відношення приросту амбієнтного еквівалента дози ( $dH_d$ ) за інтервал часу  $dt$  до величини цього інтервалу:

$$H_d = dH_d/dt \quad (2)$$

Розраховують середньоарифметичне значення ПАЕД для кожного зразка і виду міксоміцетів,  $H$  (мкЗв/год), як середнє арифметичне результатів  $n$  одиничних вимірювань за формулою (1):

$$H = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i \quad (3)$$

Відносне середньоквадратичне відхилення (СКВ, $S$ ) значення результатів вимірювань ПАЕД розраховують за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_i - H)^2} \quad (4)$$

Значення відносного СКВ результату вимірювань ПАЕД гамма-випромінювання фону не повинно перевищувати 0,2:  $S \leq 0,2$ . Результати, що виходили за вказаний інтервал, до розгляду не приймалися.

**Результати.** В результаті проведеного радіаційного контролю 100 гербарних зразків 30 видів міксоміцетів, зібраних на території 9 лісопаркових зон м. Києва, було здійснено 3000 одиничних вимірювань ПАЕД (30 вимірювань для кожного зразка), які знаходились в діапазоні від 0,04

до 0,24 мкЗв/год. Згідно з регламентом НРБУ-97, значення радіаційних параметрів, встановлені ДСЕПІН 6.6.1.-079/211.3.9 001-02., не перевищують допустимі рівні. Нормальними показниками радіаційного навантаження від природних джерел випромінювання вважається 0,10–0,20 мкЗв/год, а рівень 0,20–0,30 мкЗв/год вважається припустимим – це формує відповідну середню еквівалентну дозу менш ніж 2 мЗв на рік.

Математичні очікування (середньоарифметичне значення ПАЕД), середньоквадратичне відхилення (СКВ) ПАЕД для 30 видів міксоміцетів наведені в Таблиці 1, що відображає результати 3000 одиничних вимірювань для 100 зразків міксоміцетів. За результатами обстеження більшість середніх значень ПАЕД знаходиться в діапазоні 0,12 та 0,13 мкЗв/год – по 30% від загальної кількості видів міксоміцетів, для 13% видів відмічено середнє ПАЕД 0,11 мкЗв/год, всього у двох видів було зареєстровано середнє ПАЕД відповідно 0,10 та 0,15 мкЗв/год, і тільки один вид показав максимальне середнє ПАЕД 0,16 мкЗв/год.

Стійкість грибів до впливу радіації пов'язують з наявністю у деяких видів серед вторинних метаболітів пігменту меланіну. Цей пігмент також міститься у спорах міксоміцетів, плодових тілах та плазмодіях представників цієї групи організмів, але поки що не встановлено кореляцію між наявністю меланінових пігментів у міксоміцетів та їх стійкістю до дії радіації. В наших дослідженнях при порівнянні даних для видів з різним забарвленням спор, виявлено збільшення середнього значення ПАЕД в залежності від кольору спор: жовтий → червоний → коричневий → чорний (рис. 1).

Таблиця 1. Результати вимірювань потужності амбієнтного еквівалента дози для міксоміцетів лісопаркових територій м. Київ

№	Види міксоміцетів	Кількість зразків	ПАЕД (мкЗв/год)	СКВ	Колір спорової маси	Скорочена назва виду
1	<i>Arcyria cinerea</i> (Bull.) Pers.	2	0,12	0,05	сірий	АС
2	<i>A. denudata</i> (L.) Wettst.	4	0,12	0,02	червоний	AD
3	<i>A. ferruginea</i> Saut.	2	0,12	0,04	червоний	AF
4	<i>A. obvelata</i> (Oeder) Onsberg	2	0,11	0,02	жовтий	AOб
5	<i>A. oerstedii</i> Rostaf.	1	0,12	0,02	червоний	AOе
6	<i>A. pomiformis</i> (Leers) Rostaf.	2	0,12	0,03	жовтий	AP
7	<i>Badhamia utricularis</i> (Bull.) Berk.	4	0,12	0,03	коричневий	BU
8	<i>Cribraria argillacea</i> (Pers. ex J.F. Gmel.) Pers.	2	0,1	0,03	жовтий	CA
9	<i>Fuligo cinerea</i> (Schwein.) Morgan	1	0,14	0,02	чорний	FC
10	<i>F. leviderma</i> H. Neubert, Nowotny & K. Baumann	1	0,16	0,03	чорний	FL
11	<i>F. septica</i> (L.) Wigg.	3	0,13	0,03	коричневий	FS
12	<i>Hemitrichiacalyculta</i> (Speg.) M.L. Farr	6	0,12	0,03	жовтий	HCa
13	<i>H. clavata</i> (Pers.) Rostaf.	1	0,11	0,02	жовтий	HCl
14	<i>Lycogala epidendrum</i> (L.) Fr.	13	0,12	0,03	рожевий, сірий	LE

Продовження таблиці 1

№	Види міксоміцетів	Кількість зразків	ПАЕД (мкЗв/год)	СКВ	Колір спорової маси	Скорочена назва виду
15	<i>Metatrichia vesparia</i> (Batsch) Nann.-Bremek.	15	0,13	0,04	червоний	MV
16	<i>Mucilagocrustacea</i> F.H. Wigg.	2	0,13	0,02	коричневий	MC
17	<i>Perichaena corticalis</i> (Batsch) Rostaf.	2	0,12	0,03	жовтий	PC
18	<i>P. depressa</i> Lib.	4	0,11	0,03	жовтий	PD
19	<i>Reticularia lycoperdon</i> Bull.	1	0,13	0,01	коричневий	RL
20	<i>R. splendens</i> Morgan	1	0,15	0,02	коричневий	RS
21	<i>Stemonitisaxifera</i> (Bull.) T.Macbr.	1	0,13	0,04	коричневий	SA
22	<i>S. fusca</i> Roth	5	0,14	0,03	коричневий	SF
23	<i>S. pallida</i> Wingate	1	0,13	0,02	коричневий	SP
24	<i>S. smitii</i> T.Macbr.	1	0,14	0,02	коричневий	SS
25	<i>Stemonitopsisaoena</i> (Nann.-Bremek.) Nann.-Bremek.	1	0,15	0,04	коричневий	SAm
26	<i>Trichia botrytis</i> (Gmel.) Pers.	1	0,1	0,03	жовтий	TB
27	<i>T. decipiens</i> (Pers.) T. Macbr.	8	0,13	0,03	жовтий	TD
28	<i>T. favoginea</i> (Batsch) Pers.	7	0,11	0,04	жовтий	TF
29	<i>T. scabra</i> Rostaf.	4	0,13	0,03	жовтий	TS
30	<i>T. varia</i> (Pers. ex J.F. Gmel.) Pers.	2	0,13	0,03	жовтий	TV

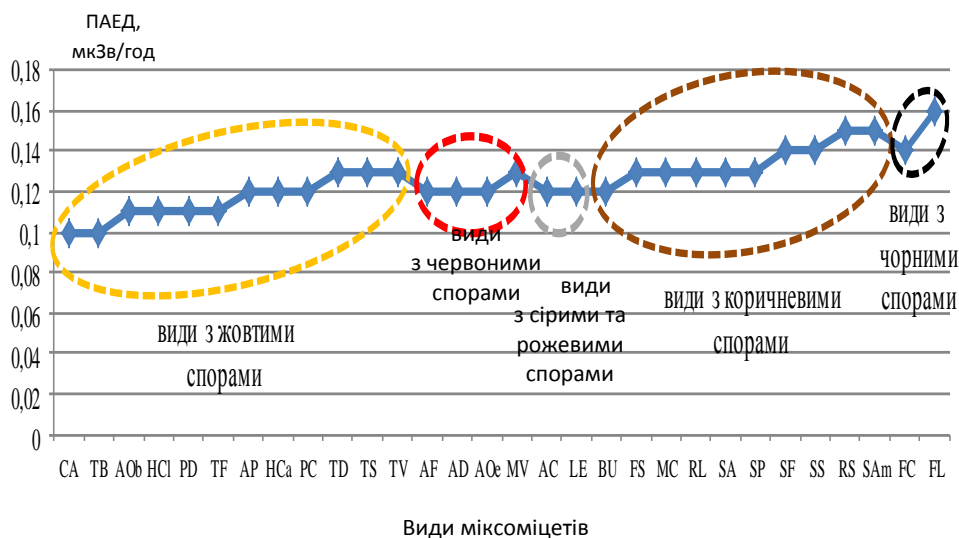
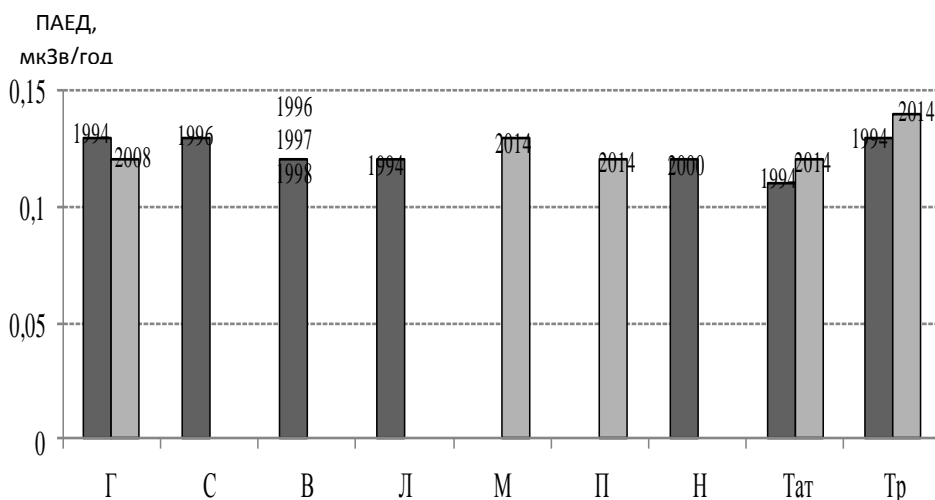


Рис. 1 – Залежність потужності амбієнтного еквівалента дози від вмісту пігментів у 30 видів міксоміцетів (повні назви наведені в таблиці 1)



Очевидно, що у темноспорових видів міксоміцетів концентрація меланіну має бути більшою, саме тому найвищі середні значення ПАЕД відмічені у *Fuligoleviderma* (0,16 мкЗв/год) з чорними спорами та у видів з коричневими спорами – *Stemonitopsisamoena* та *Reticulariasplendens* (по 0,15 мкЗв/год відповідно). Найнижчі середні значення ПАЕД зареєстровані у видів з жовтими спорами *Cribrariaargillacea* та *Trichiabotrytis* (по 0,10 мкЗв/год відповідно).

Моніторинг рівня ПАЕД в 9 лісопаркових зонах м. Києва протягом 1994-2008 рр. не виявив значних коливань в накопиченні дози випромінювання гербарними зразками міксоміцетів, зібраних в різні роки (рис. 2). В НПП «Голосіївський» середнє значення ПАЕД для міксоміцетів, виявлених у 1994 р., становить 0,13 мкЗв/год, а у 2008 – 0,12 мкЗв/год. З іншого боку, зразки слизовиків, відібрані в парку на Татарці у 1994 р. мають менше середнє значення ПАЕД – 0,11 мкЗв/год, ніж зразки, знайдені в тому ж самому місці у 2014 р. – 0,12 мкЗв/год. Схожа динаміка зміни накопиченої дози спостерігається і для міксоміцетів, виявлених у Гідропарку: середнє значення ПАЕД у 1994 р. – 0,13 мкЗв/год, у 2014 р. – 0,14 мкЗв/год. Це свідчить про те, що для моніторингу радіоекологічного стану екосистем доцільно вибирати певні види міксоміцетів, а не проводити загальний аналіз ПАЕД всіх виявлених зразків.

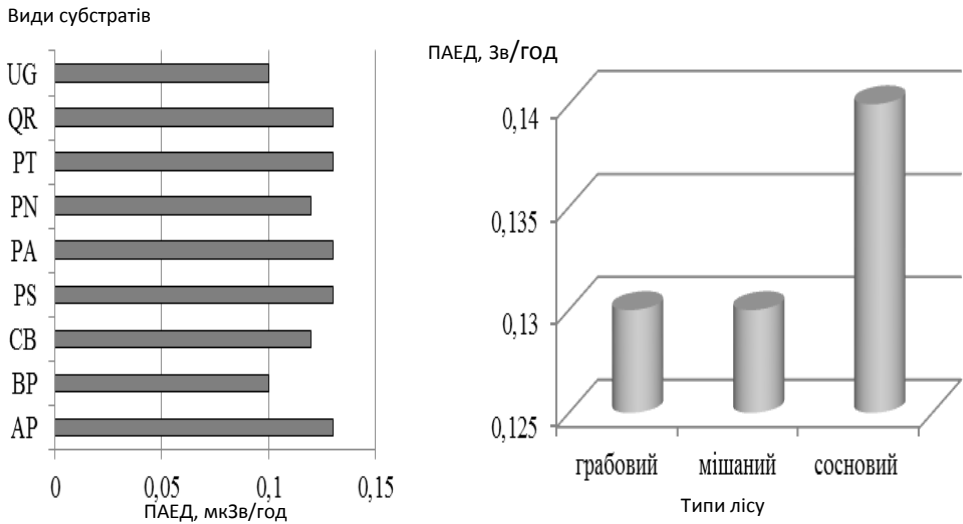


Локалітети: Г – НПП «Голосіївський», С – Святошинський ліс, В – Пуца-Водицький ліс (Виноградар), Л – «Лиса гора», М – Маріїнський парк, П – «Пирогів», Н – парк «Нивки», Тат – парк на Татарці, Тр – Гідропарк

Рис. 2 – Моніторинг ПАЕД зразків міксоміцетів в лісопаркових зонах м. Київ

Оскільки гербарні зразки включали не тільки плодові тіла міксоміцетів, але й субстрати (переважно це фрагменти відмерлої деревини), то для виключення фонової інтерференції ПАЕД випромінювання субстрату, було проведено порівняння середніх значень ПАЕД зразків, в залежності від типів субстратів (рис. 3). Найменшим середнім значенням ПАЕД (0,10 мкЗв/год) характеризуються субстрати з *Betulapendula*, а найбільшим (0,13 мкЗв/год) – субстрати з *Quercusrobur*, *Populustremula*, *Populusalba*, *Pinussilvestris* та *Acerplatanoides*, зібрані в різні роки на різних територіях м. Києва. Кореляцій

ПАЕД видів міксоміцетів в залежності від видів субстратів виявлено не було, тому є підстави вважати, що дослідження виявили саме потужність еквівалентної дози міксоміцетів, а не субстратів, на яких вони утворили спорофори.



AP - *Acer platanoides* L., BP - *Betula pendula* Roth., CB - *Carpinus betulus* L., PS - *Pinus silvestris* L., PA - *Populus alba* L., PN - *P. nigra* L., PT - *P. tremula* L., QR - *Quercus robur* L., UG - *Ulmus glabra* Huds.

Рис. 3 – Середнє значення ПАЕД зразків міксоміцетів в залежності від виду субстратів та типу лісу

Для визначення впливу типу лісового угруповання, в якому було знайдено зразок, на рівень ПАЕД було проведено порівняння середнього значення накопиченої дози в трьох основних типах лісопаркових формацій, де проводились дослідження: грабовий, сосновий та мішаний ліс. З'ясувалось, що найбільше значення ПАЕД характерне для соснового лісу (близько 0,14 мкЗв/год), а у грабовому та мішаному – 0,13 мкЗв/год. Незначна різниця середніх значень ПАЕД свідчить про те, що міксоміцети доцільніше використовувати для локальної радіоекологічної оцінки, а не для глобальної характеристики великих територій.

**Обговорення та висновки.** Вивчення реакцій живих організмів на дію стресових факторів, зокрема радіації, має важливе значення для вирішення проблем екологічної безпеки навколишнього середовища. Припускається, що реакція міксоміцетів на дію стресових факторів навколишнього середовища проявляється в біосинтезі вторинних метаболітів, зокрема меланінових пігментів. Біологічно активні сполуки надають можливість витримувати конкуренцію з бактеріями, грибами та іншими мікроорганізмами, що мешкають у ґрунті та на детритних субстратах. Міксоміцети характеризуються високим рівнем адаптації до несприятливих умов, що забезпечує їх широке поширення в різноманітних екотопах всіх регіонів світу. Дослідження особливостей пристосування міксоміцетів до дії стресових факторів відкривають нові перспективи для практичного застосування їх специфічних адаптаційних механізмів у сфері екологічної безпеки.

Міксоміцети можуть стати новим об'єктом біоіндикації радіаційного забруднення і, можливо, перспективним об'єктом для біоремедіації радіаційно забруднених територій в лісових екосистемах. Особливості їх метаболізму, життєвого циклу та широке поширення надає можливість використовувати їх плодові тіла для практичного визначення ступеня шкоди, яку може заподіяти іонізуюче випромінювання. Проте перепонами до широкого використання міксоміцетів у якості біоіндикаторів радіації можуть бути невеликі розміри їх плодових тіл та складність їх виявлення і визначення. Однак серед міксоміцетів є види, які мають великі плодові тіла або утворюють великі колонії яскраво забарвлених спорофорів, добре помітних неозброєним оком. До таких видів, які, крім того, легко знайти та визначити в польових умовах, належать *Arcyriadenudata*, *A.obvelata*, *Fuligoseptica*, *Lycogalaepidendrum*, *Metatrichiavesparia*, *Mucilagocrustacea*, *Reticularialycoperdon*, *Stemonitisfusca*, *Trichiafavoginea*. Можливо, що деякі з цих видів у перспективі будуть використовуватись як біоіндикатори для дослідження дії різноманітних факторів на навколишнє середовище. Дане дослідження є вкладом у формування паспорту екологічної безпеки для міксоміцетів, який оцінює вплив цих організмів на інші види, людину та навколишнє середовище.

В результаті дослідження зроблені наступні висновки:

1. Міксоміцетам притаманні специфічні адаптаційні механізми захисту до дії несприятливих факторів навколишнього середовища, що дозволяє їм пристосовуватись до різних умов існування і є однією з причин їх широкого розповсюдження.

2. Адаптаційні механізми на молекулярному рівні можуть проявлятися у міксоміцетів шляхом синтезу вторинних метаболітів – пігментів та біологічно активних сполук.

3. Виявлено, що темноспорові види міксоміцетів більш стійкі до дії радіації, ніж міксоміцети із сірим, жовтим та червоним забарвленням спор, що обумовлено наявністю особливих форм меланіну в клітинній оболонці.

4. Окремі види міксоміцетів можуть бути використані для потреб вирішення практичних завдань екологічної безпеки, як біоіндикатори локального радіаційного стану навколишнього середовища, а також розглядаються перспективи використання міксоміцетів для біоремедіації.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гроздинська Г., Сирчин С., Кучма М., Конішук В. Макроміцети – біоіндикатори забруднення радіоцезієм лісових екосистем України // Вісн. НАН України. – 2008. – № 9. – С. 26–37.
2. Steiner M., Linkov I., Yoshida S. The role of fungi in the transfer and cycling of radionuclides in forest ecosystems // J. Environ. Radioactivity. – 2002. – Vol. 58. – P. 217–241.
3. Keller H.W., Everhart S.E. Importance of Mухomycetes in Biological Research and Teaching // Fungi. – 2010. – 3(1). – P. 13–27.
4. Жданова Н. М. Моніторинг міксоміцетів при визначенні санітарного стану ґрунтів / Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель. – К.: Фітосоціоцентр, 2002. – С. 146–152.
5. Dembitsky V.M., Rezanka T., Spizek J., Hanus L.O. Secondary metabolites of slime molds (мухомycetes) // Phytochemistry. – 2005. – 66(7). – P. 747–69.
6. Plonka P.M., Grabacka M. Melanin synthesis in microorganisms — biotechnological and medical aspects // ActaBiochimicaPolonica – 2006. – Vol. 53 No. 3. – P. 429–443.

7. Calvo A.M., Wilson R.A., Bok J.W., Keller N.P. Relationship between secondary metabolism and fungal development // *MicrobiolMolBiol Rev.* – 2002. – 66(3). – P. 447–459.
8. Тугай Т.И., Жданова Н.Н., Желтоножский В.А., Садовников Л.В. Проявление радиоадаптивных свойств у микроскопических грибов, длительное время находившихся на территориях с повышенным радиационным фоном после аварии на ЧАЭС // *Радиационная биология. Радиоэкология.* – 2007. – В. 5., Т. 47. – С. 543–549.
9. Гесслер Н.Н., Егорова А.С., Белозерская Т.А. Меланиновые пигменты грибов в экстремальных условиях существования (обзор) // *Прикладная биохимия и микробиология.* – 2014. – № 2. – С.125–134.
10. Loganathan P., Kalyanasundaram I. The melanin of the myxomycete *Stemonitisherbatica* // *Act. Protoz.* – 1999. – 38(2). – P. 97–103.
11. Krzywda A., Petelenz E., Michalczyk D., Płonka P.M. Sclerotia of the acellular (true) slime mould *Fuligoseptica* as a model to study melanization and anabiosis // *CellMolBiol-Lett.* – 2008. – 13(1). – P.130–143.
12. Loganathan P., Paramasivan P., Kalyanasundaram I. Melanin as the spore wall pigment of some myxomycetes // *Mycological Research* – 1989. –Vol.92(3). – P. 286–292.
13. Poulain M., Meyer M., Bozonnet J. *Les Myxomycètes.* 2 vol. – Delémont: FMBDS, 2011. – 1119 p., 544 plates.
14. Тимошенко М.М., Мінчук Г.Я. Робочий зошит з питань радіаційного контролю. – К.: ВАІТЕ, 2013. – 52 с.

*Стаття надійшла до редакції 23.01.2015*

## ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 628.36

О.Я. ОЛІЙНИК, О.А. КОЛПАКОВА

### ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ З ДОСЛІДАМИ ПРИ ОЧИСТЦІ СТІЧНИХ ВОД НА КРАПЛИННИХ БІОФІЛЬТРАХ

***Анотація.** Наведені результати порівняльного співставлення запропонованих теоретичних розрахунків з дослідними даними, одержаними різними авторами при біологічній очистці стічних вод від органічних забруднень на краплинних біофільтрах з різним завантаженням. Результати теоретичних розрахунків в цілому добре узгоджуються з дослідними даними.*

***Ключові слова:** біологічна очистка, стічні води, краплинний біофільтр, концентрація органічних забруднень, завантаження.*

Останнім часом для забезпечення сучасних нормативних вимог необхідно проведення більш глибокої біологічної очистки стічних вод. Як показали існуючі дослідження, в цьому випадку найбільш ефективно вилучення органічних і інших забруднень відбувається на біофільтрах різних конструкцій за рахунок утворення високої концентрації біомаси в об'ємі біофільтра [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Ця біомаса утворюється на завантаженні у вигляді біоплівки і має значну концентрацію мікроорганізмів [1, 7, 8].

При цьому на практиці біологічної очистки стічних вод порівняно широке розповсюдження одержали краплинні біофільтри, в яких, на відміну від затоплених фільтрів, стічна вода в ненасиченому середовищі стікає по поверхні завантаження із закріпленою біоплівкою, і таким чином в цьому випадку не потрібне влаштування додаткових систем (пристроїв) для забезпечення процесу очистки киснем. В якості завантаження приймаються різні пластини із полімерних матеріалів або частинок породи різних розмірів [2, 3, 4, 9, 10]. Приклади промислового використання краплинних фільтрів для очистки стічних вод наведені зокрема в роботах [1, 3, 11, 12]. Враховуючи недоліки існуючих досліджень, в роботі [13] сформульована і запропонована більш загальна і досконала математична модель вилучення органічних забруднень на краплинних фільтрах в умовах достатнього забезпечення аеробного процесу

очистки киснем. На основі реалізації цієї моделі запропоновані інженерні методи розрахунку технологічних і конструктивних параметрів очистки на краплинних фільтрах [14, 15]. Запропоновані залежності для визначення зміни концентрацій забруднень по товщині біоплівки і по висоті біофільтра при різних можливих швидкостях (кінетик) реакцій вилучення органічних забруднень. Запропоновані також критерії і рекомендації, які дозволяють визначити доцільну і оптимальну активну товщину біоплівки, в межах якої відбувається майже повне вилучення поступаючих до неї забруднень. В роботі [15] для виконання розрахунків наведені необхідні рекомендації щодо вибору параметрів і коефіцієнтів, що входять в рівняння і залежності.

Нижче наведені деякі результати проведеної верифікації і порівняльного аналізу запропонованих моделей і методів розрахунку з використанням експериментальних досліджень різних спеціалістів. Як зазначалось вище, важливим параметром при виконанні розрахунків є встановлення розрахункової товщини біоплівки. Нагадаємо, що біоплівка в цілому має складну гетерогенну структуру, вивченню якої, а також основних характеристик, процесів, що відбуваються в біоплівці, і т.п. присвячено багато робіт, зокрема [2, 7, 15, 16, 17, 18, 19]. В даному випадку розрахункова товщина біоплівки являє собою її активну товщину, яка складається із гетеротрофних мікроорганізмів, і формування її складових параметрів в значній мірі залежить від навантаження і гідравлічних умов у біофільтрах із закріпленим біоценозом. В роботах [2, 15] на підставі реалізації загальних рівнянь з визначення формування товщини біоплівки наведені конкретні залежності для визначення її активної частини з врахуванням процесів зростання біоплівки, розпаду біоплівки і швидкості відриву з її поверхні. При цьому зазначимо, що у біофільтрах із закріпленим біоценозом товщина біоплівки фільтра буде зменшуватись у зв'язку зі зменшенням концентрації забруднень, які вилучаються, а також із збільшенням питомої поверхні матеріалу завантаження. Запропоновані моделі і методи розрахунку в принципі дозволяють врахувати цю обставину. Проведений порівняльний аналіз теоретичних розрахунків з дослідними даними свідчить про те, що запропоновані моделі і розроблені методи розрахунку на основі прийнятих середньозважених постійних значень товщини біоплівки  $\delta$  достатньо надійно і адекватно описують і відображають процеси очистки в цих випадках [1, 2, 7, 17, 18, 20]. Так, наприклад, в роботі [20] наведені широкі дослідження по вилученню органічних речовин на фільтрах із закріпленим біоценозом. При цьому порівняльними дослідженнями встановлено, що добре узгодження дослідних даних з розрахунковими одержимо при товщині біоплівки  $\delta \approx 100$  мкм. Для цього випадку розрахунками встановлено, що осереднена товщина біоплівки складає  $\delta = 117$  мкм.

Досить ґрунтовне лабораторне дослідження по вилученню органічних забруднень в очисному біофільтрі в умовах достатнього забезпечення аеробного процесу киснем проведено в роботі [21]. Побудований реактор (біофільтр) з полівінілхлориду висотою 2 м діаметром 0,2 м. Побутові стічні води подавались знизу в центральну частину колони, повітря надходило через отвори в основі колони. В якості завантаження використовували елементи відпрацьованого поліпропілену діаметром 2,3–2,7 мм, довжиною 4–6 мм, питома площа поверхні завантаження складала  $1160 \text{ м}^2/\text{м}^3$ , пористість – 0,42.

Побутові стічні води подавались знизу вгору. Витрата потоку становила – 0,2 л/хв., відношення повітря/рідина складало 10:1. Реактор працював в стабільному режимі, для видалення надлишкової біомаси промивка відбувалась кожен день. Температура стічної води підтримувалась 16,5–17,5 °С підігрівачем та ізоляцією реактора. Відбір проб виконували кожного ранку, за якими визначалось значення концентрації забруднень в одиницях ХПК та БПК очищення, яка складала від 75% до 90%. В період проведення експерименту умови вхідного потоку практично не змінювались. Значення концентрації розчиненого кисню змінювались від 5,2 до 8,6 мг/л, дослідження показали, що зазначені коливання не являються лімітуючим фактором. Для побудови профілю в реакторі, проби відбирали через постійний інтервал з вхідної труби, по довжині потоку та з вихідної труби. Дослідження проведені для різних вхідних концентрацій ХПК, які змінювались в межах  $L_0 = 80 - 200$  мг/л ( $0,08 - 0,2$ ) кг/м<sup>3</sup>. Більш детально методики проведення дослідів і їх обробки описані в роботі [21].

Для проведення порівняльного аналізу результатів теоретичних розрахунків з дослідними даними була використана методика розрахунку, яка наведена в роботі [15]. Згідно з цією методикою з використанням наведених і прийнятих вихідних даних було проведено визначення проміжних параметрів (параметри  $A$ ,  $A^*$ ), а потім використовуючи запропоновані в роботі [15] залежності для визначення зміни концентрації по висоті біофільтра з врахуванням обґрунтованих швидкостей реакції в біоплівці для даного випадку. На рис. 1 наведено порівняльний графік при вхідній концентрації  $L_0 = 0,160$  кг·ХПК/м<sup>3</sup>.

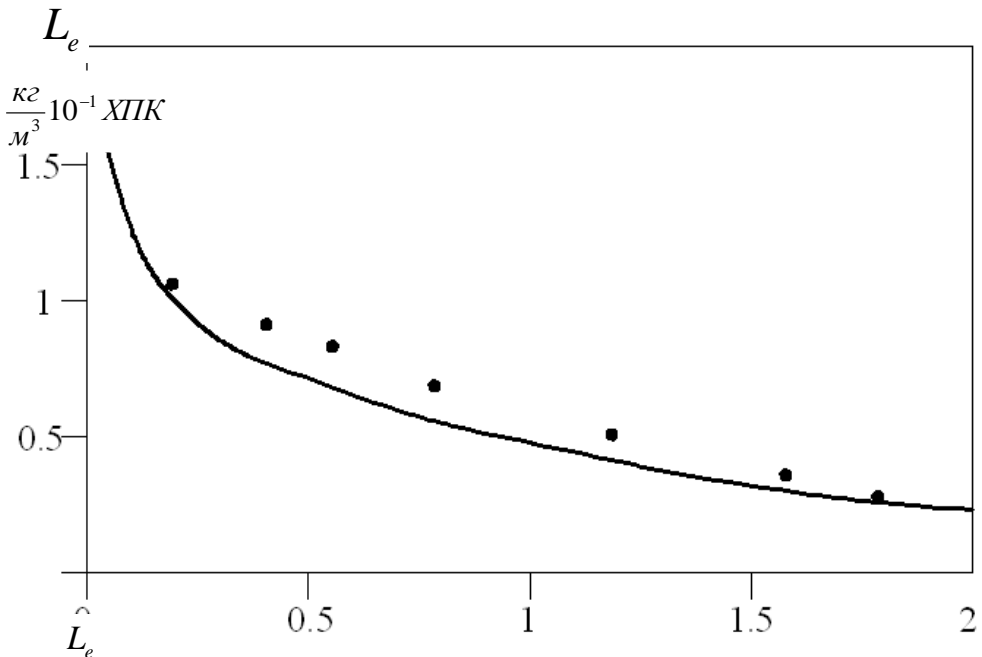


Рис. 1 – Графік зміни концентрації по висоті фільтра  $L_e = f(z)$   $z, м$   
• - дослідні дані, — - розрахункова крива

Додатково відзначимо, що при виконанні розрахунків для побудови теоретичної кривої  $L_e = f(z)$ , зокрема згідно з роботою [15], було прийнято в дослідженнях значення витрати  $Q = 0,024 \text{ м}^3/\text{год}$ , питома площа поверхні завантаження  $F_{\delta n} = 1160 \text{ м}^2/\text{м}^3$ , а також у зв'язку з відносно значною площею поверхні  $F_{\delta n}$ , згідно з роботою [18], товщина біоплівки прийнята  $\delta = 25\text{--}30 \text{ мкм}$ . Інші необхідні вихідні дані прийняті на основі рекомендацій, наведених у відомих літературних джерелах. При цьому згідно з роботою [21] концентрація  $L_{en}$  замірялась в одиницях ХПК і БПК, а відношення БПК/ХПК в досліджах складало 0,45 для вхідного потоку і 0,20 – для вихідного потоку (у фільтраті). Із графіка рис. 1 розрахункові концентрації розташувались дещо нижче дослідних, але в цьому спостерігалось відносно добре узгодження між ними.

В літературі, зокрема [3, 4, 5, 6, 22], на підставі аналізу існуючих результатів досліджень запропоновано ряд емпіричних залежностей для розрахунку параметрів очистки стічних вод на біофільтрах. Основою цих досліджень є відома функціональна залежність концентрації стічної води на виході  $L_{es}$  (БПК<sub>5</sub>) в залежності від ряду факторів, яка з деякими змінами в залежності від типу завантаження і інших чинників використовувалась різними спеціалістами очистки.

Так, в роботі [3] на основі обробки лабораторних і напівпромислових досліджень, з використанням також даних експлуатації виробничих споруд біофільтрів з площинним завантаженням запропоновані розрахунковий графік (рис. 2) і залежності для розрахунку концентрації в очищеній стічній воді (фільтраті) в одиницях БПК. Для визначення робочої висоти фільтра  $S$  при відомих заданих концентраціях  $L_{es}$  і інших параметрів також запропонована низка залежностей. У графік на рис. 2 і в запропоновані залежності входить узагальнений параметр  $\eta$ , який визначається за формулою

$$\eta = P \cdot S \cdot K_T / F, \quad (1)$$

де  $P$  – пористість завантажувального матеріалу, %;  $S$  – висота біофільтра, м;  $K_T$  – температурна константа;  $F$  – маса органічних забруднень по БПК<sub>5</sub>, що надходять за добу на одиницю площі поверхні завантажувального матеріалу біофільтра,  $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{доб})$ , яка визначається за формулою

$$F = \frac{L_0 q}{F_{\delta n}} = \frac{G}{F_{\delta n}} \quad (2)$$

де  $L_0$  – вхідна концентрація забруднень в БПК,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;  $q$  – об'ємне навантаження,  $\text{м}^3/\text{м}^3 \cdot \text{доб}$ ;  $F_{\delta n}$  – питома площа поверхні матеріалу завантаження,  $\text{м}^2/\text{м}^3$ ;  $G$  – завантаження по гБПК/ $(\text{м}^3 \cdot \text{доб})$ . Запропонованими залежностями рекомендується користуватись при  $P = 93\text{--}96\%$ ,  $F_{\delta n} = 90\text{--}110 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ,  $L_0 = 200\text{--}250 \text{ мг}/\text{л}$ .



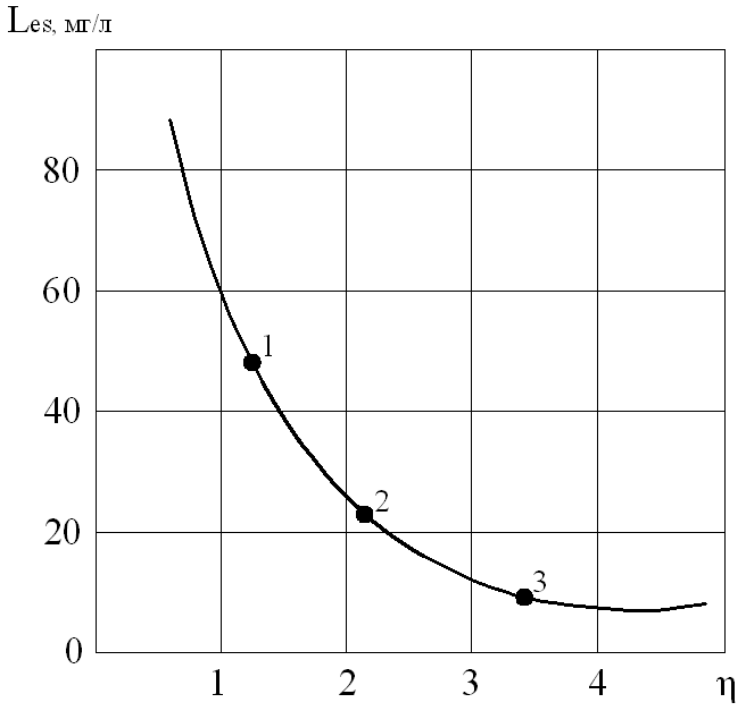


Рис. 2 – Залежність  $L_{es} = f(\eta)$

Для визначення концентрації на виході з врахуванням рекомендацій [3] використаємо запропоновану нами розрахункову формулу [15]

$$L_{es} = L_0(1 - \lambda w_L \delta S) = L_0(1 - N), \quad (3)$$

де  $\lambda = \frac{F_\delta}{QL_0} = \frac{F_{\delta n}}{q_{\phi 2} S}$ ,  $q_{\phi 2} = \frac{Q}{V_\phi} L_0$  – об’ємне завантаження по органічному забрудненню, гБК/(м<sup>3</sup>·доб);  $F_\delta$  – площа поверхні біоплівки на одиницю висоти фільтра, м;  $V_\phi$  – об’єм біофільтра, м<sup>3</sup>;  $Q$  – витрата, яка поступає безпосередньо на біофільтр з можливим врахуванням при необхідності рециркуляції, м<sup>3</sup>/доб;  $S$  – висота біофільтра, м. Згідно з [1] для полімерного завантаження приймається  $F_{\delta n} = 100\text{--}200 \text{ м}^2/\text{м}^3$  і  $q_{\phi 2} = (400\text{--}800) \text{ гБК}/(\text{м}^3 \cdot \text{доб})$ .

Одержані результати розрахунків по формулі (3) будуть повністю співпадати з дослідними даними, якщо прийняти на графіку рис. 2, побудованому в координатах  $L_{es} = f(\eta)$ , значення параметра  $N$  в точках 1 –  $N = 0,5$ , 2 –  $N = 0,75$ , 3 –  $N = 0,9$ .

В роботі [5] наведені результати чисельних лабораторних і напіввиробничих досліджень очистки міських і промислових стічних вод на біофільтрах з блоковим завантаженням із піноскла. При обробці результатів дослідів і побудові на їх основі розрахункових залежностей в основному були використані параметри, які з деяким доповненням запропоновані і враховані в попередній роботі [3]. Використовуючи дослідні дані, які наведені в роботі [5], на рис. 3 наведено порівняльний графік, побудований в координатах  $L_{es} = f(B)$

результатів теоретичних розрахунків з дослідними даними. Як видно із рис. 3, результати розрахунків добре узгоджуються з дослідними даними. Розрахунки виконувались по залежності (5), при обчисленні параметра В використовувались вихідні дані, які наведені в роботі [5], а також в літературних джерелах.

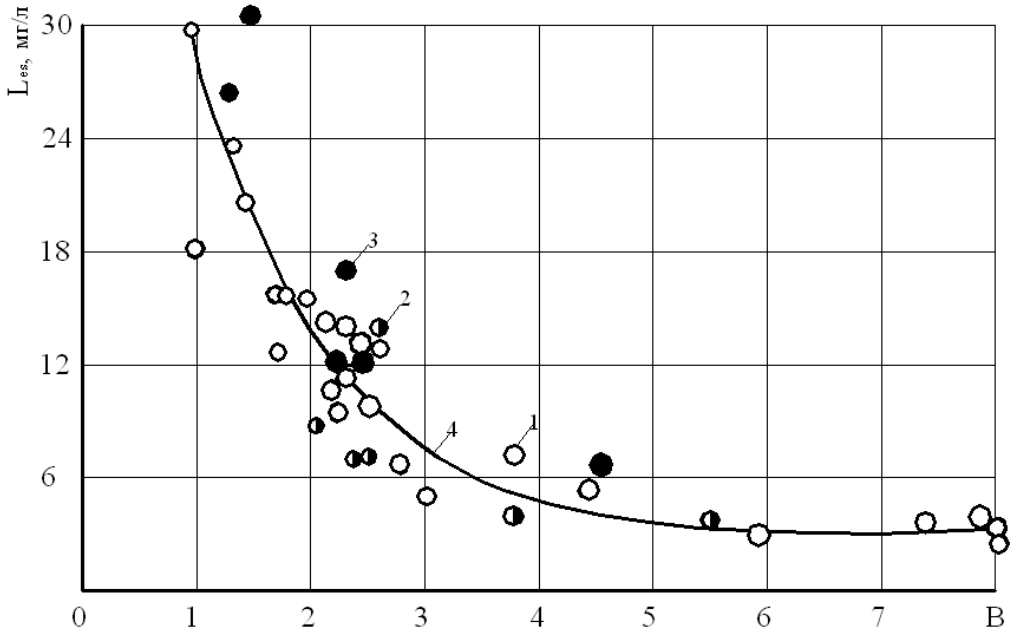


Рис. 3 – Графік залежності  $L_{es} = f(B)$  1 – лабораторні дослідження; 2 – промислові дослідження, проведені в осінніх умовах; 3 – те ж в зимових умовах; 4 – теоретична крива

Для проведення порівняльного аналізу використаємо також результати експериментальних досліджень, одержаних і наведених в роботах [23, 24]. Так, в роботі [23] проведені експериментальні дослідження на напіввиробничих установках з метою визначення оптимального виду завантажувального матеріалу. Установки виконані із сталевих труб з внутрішнім діаметром 0,8 м, висота шару завантажувального матеріалу – 3,8 м, а загальний об'єм завантаження –  $1,9 \text{ м}^3$ .

Експериментальні дослідження біофільтрів проводились із завантаженням двох типів. Завантаження першого типу виконано у виді окремих секцій з полівінілхлориду товщиною 2 мм. Питома площа поверхні завантаження складала  $105 \text{ м}^2/\text{м}^3$ , пористість 90%, об'ємна вага  $110 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Завантаження другого типу – гофровані листи  $500 \times 500 \text{ мм}$ , з висотою гофри 60 мм, питома площа поверхні складала  $80 \text{ м}^2/\text{м}^3$ , пористість 96%, об'ємна вага  $40 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Повітря надходило знизу-вверх природним шляхом, стічна вода розподілялась по поверхні завантаження зверху-вниз за допомогою реактивного зрошувача. Більш детальна інформація щодо цих досліджень наведена в роботі [23].

Враховуючи можливий тип реакції вилучення забруднень в біоплівці, розрахунками одержані такі значення концентрації  $L_{es}$  у фільтраті: в 1-му випадку  $L_{es} = 10,5 \text{ мг}/\text{л}$  БПК<sub>5</sub>,  $L_{es} = 16,6 \text{ мг}/\text{л}$  БПК<sub>5</sub>; в другому випадку

$L_{es} = 11,6$  мг/л БПК<sub>5</sub>,  $L_{es} = 20$  мг/л БПК<sub>5</sub>. Результати наведених досліджень були використані при проектуванні і побудові очисних споруд, до складу яких входять біофільтри, завантажені азбестоцементними та поліетиленовими листами [23].

В результаті проведених досліджень були одержані такі осереднені дані очистки від органічних забруднень, які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Результати досліджень, одержані в роботі [23]

Показники	Розмірність	1-й випадок		2-й випадок	
		$L_0$	$L_{es}$	$L_0$	$L_{es}$
$Q_{навант.}$	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ·доб	-	20,29	-	20,49
БПК <sub>5</sub>	мг/л	80	13	78	13
БПК <sub>повн</sub>	мг/л	111	18,5	105	19
ХПК	мг/л	174	52	210	69

В роботі [24] наведені результати досліджень, проведених на біофільтрі з м'яким пластмасовим завантаженням. Досліди проводились як в лабораторних, так і в напіввиробничих умовах. В якості завантаження застосовувалась рулонна, гофрована та перфорована вінілпластова плівка. Товщина плівки 0,4 мм, висота гофри 2,5 мм, діаметр отворів 2,8 мм. Загальна площа поверхні отворів складала 60% від поверхні плівки.

Лабораторна модель біофільтра мала об'єм 10 дм<sup>3</sup> при висоті шару завантаження 1,6 м. Пористість завантажувального матеріалу складає 98%, а питома площа поверхні вінілпластової плівки з врахуванням отворів досягла 350 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>. Досліди проводились з навантаженням 3 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> на добу. Величина БПК<sub>5</sub> очищеної стічної води в середньому складала 8 мг/л при БПК<sub>5</sub> неочищеної – 105 мг/л. Біологічна плівка наростала рівномірно на завантажувальному матеріалі, перекриваючи при цьому отвори перфорації.

Напіввиробничі дослідження проводились на установці з внутрішнім діаметром 0,8 м та висотою шару завантаження 3,5 м. Розподілення стічної рідини по поверхні біофільтра виконувалось реактивним зрошувачем. Загальний об'єм матеріалу завантаження складає 1,76 м<sup>3</sup>. Завантаження представляло ряд вертикальних полотен з вінілпластової та перфорованої плівки. Об'ємна вага завантажувального матеріалу досягла 6,0 кг/м<sup>3</sup> при пористості 99% та питомій площі поверхні 40 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>. Дослідження продовжувались більше 5 місяців, проводились на господарсько-побутовій воді та складались з двох серій дослідів. В першій серії дослідів навантаження складало 4 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> на добу, а по БПК<sub>повн</sub> – 600 г/м<sup>3</sup> на добу. Ефект вилучення забруднень при цьому складав в середньому по БПК<sub>повн</sub> – 87%; по завислим речовинам – 90%.

У другій серії досліджень навантаження було збільшене до 9 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> на добу, а навантаження по БПК<sub>повн</sub> – 1,2 кг/м<sup>3</sup> на добу. Ефект очистки при цьому складав в середньому по БПК<sub>повн</sub> – 87%; по завислим речовинам – 90%.

Усереднені значення показників неочищеної та очищеної стічної рідини наведені в таблиці 2, відповідно на рис. 4 показана залежність ефекту вилучення забруднень від величини навантаження по БПК<sub>5</sub>, одержана в дослідях і в результаті виконаних розрахунків.

Таблиця 2. Показники роботи біофільтра з м'яким пластмасовим завантаженням [24]

Показники	Розмірність	1-ша серія дослідів		2-га серія дослідів	
Навантаження	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> доб.	-	4,0	-	9,0
БПК <sub>5</sub>	мг/л	125	14	105	12
БПК <sub>повн</sub>	мг/л	150	20	134	18
ХПК	мг/л	193	88	182	74
Завислі речовини	мг/л	130	12	123	11
Окислювальність	мг/л	57	22	47	15

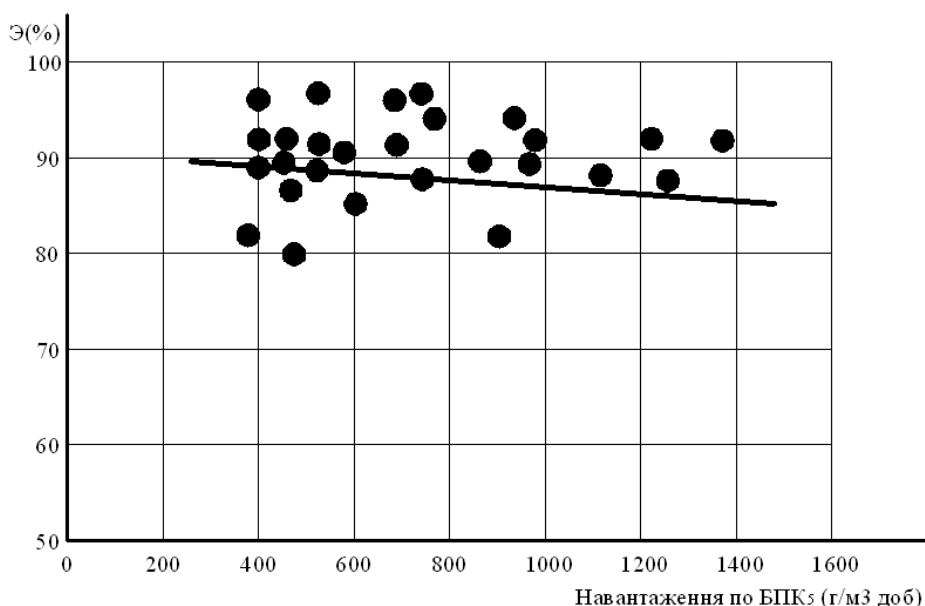


Рис. 4 – Залежність ефекту очистки від навантаження по БПК<sub>5</sub>

• - дослідні дані, — - розрахункова пряма

У напіввиробничих умовах біологічна плівка, як і на лабораторній моделі, рівномірно покривала завантажувальний матеріал, отвори перфорації при цьому досить швидко заростали.

Як бачимо в обох останніх випадках [23, 24], одержані досить задовільні результати порівняльного співставлення розрахункових і дослідних даних. Тому на основі проведених досліджень доцільно буде зробити висновок, що запропоновані матеріали завантаження можуть з успіхом використовуватись у біофільтрах.

В роботі [25] з метою оцінки існуючих експериментальних залежностей, використані дослідні дані, які представлені в таблиці 3 і в перерахованих координатах  $Les = f(B)$  на рис. 5, що дозволяє провести порівняльну оцінку запропонованих теоретичних розрахунків з дослідними даними. Розрахунки виконувались з використанням залежності [15]

$$\bar{L}_e = \frac{L_e}{L_0} = e^{-B\bar{z}} = e^{-\bar{z}}, B = \frac{A_*}{Q}, A_* = K_L F_{\delta s} (1 - A), F_{\delta s} = F_{\delta} \cdot S, \bar{z} = \frac{z}{S} \quad (4)$$

яка при визначенні концентрації на виході із біофільтра (фільтраті) при  $\bar{z} = 1$  ( $z = S$ ) має вигляд

$$L_{eS} = L_0 e^{-B} = L_0 e^{-\tilde{S}} \quad B = \tilde{S} = \frac{A_*}{Q} \quad (5)$$

Тут  $L_0$  – вхідна концентрація ОЗ, мг/л;  $S$  – робоча висота фільтра, м;  $F_{\delta}$  – площа поверхні завантаження на одиницю висоти фільтра, м;  $K_L$  – коефіцієнт переносу в рідинній плівці, м/год;  $A$  – параметр, який визначається згідно з [15]. Для обчислення параметра  $B$  використовувались вихідні дані, які наведені в роботі [25], а також взяті із літературних джерел. Хоча маємо, особливо при більших значеннях  $\bar{L}_{eS}$ , деяке розходження дослідних даних з розрахунковими, в цілому можна вважати задовільним співпадання дослідних даних з розрахунковими.

Таблиця 3. Дослідні дані по очистці стічних вод в біофільтрі [25]

$q, \text{ м}^3/\text{м}^2/\text{доб}$	$S, \text{ м}$	$L_0, \text{ мг/л БПК}$	$L_{eS}, \text{ мг/л БПК}$
2,5	0,61	121,6	18,9
2,5	1,14	121,6	29,9
2,5	1,68	121,6	10,1
2,5	2,21	121,6	10,9
2,5	0,61	129,6	23,2
2,5	1,14	129,6	19,2
2,5	1,68	129,6	13,6
2,5	2,21	129,6	11,9
4,637	0,61	118,0	27,7
4,637	1,14	118,0	22,1
4,637	1,68	118,0	14,1
4,637	2,21	118,0	12,9
4,646	0,61	122,4	34,9
4,646	1,14	122,4	23,0
4,646	1,68	122,4	17,1
4,646	2,21	122,4	13,3
6,466	0,61	138,4	47,0
6,466	1,14	138,4	31,1
6,466	1,68	138,4	25,0
6,466	2,21	138,4	19,1
6,578	0,61	115,2	45,0
6,578	1,14	115,2	40,1
6,578	1,68	115,2	22,3
6,578	2,21	115,2	16,0
9,423	0,61	103,2	37,2

Продовження таблиці 3

9,423	1,14	103,2	32,7
9,423	1,68	103,2	19,8
9,423	2,21	103,2	14,6
9,563	0,61	126,4	37,9
9,563	1,14	126,4	32,8
9,563	1,68	126,4	24,6
9,563	2,21	126,4	18,5
12,381	0,61	134,4	36,2
12,381	1,14	134,4	28,6
12,381	1,68	134,4	26,5
12,381	2,21	134,4	22,1
12,623	0,61	122,8	25,5
12,623	1,14	122,8	49,6
12,623	1,68	122,8	23,7
12,623	2,21	122,8	21,3
14,928	0,61	122,4	38,6
14,928	1,14	122,4	33,1
14,928	1,68	122,4	27,4
14,928	2,21	122,4	26,1
15,292	0,61	119,6	36,4
15,292	1,14	119,6	42,2
15,292	1,68	119,6	29,6
15,292	2,21	119,6	27,2

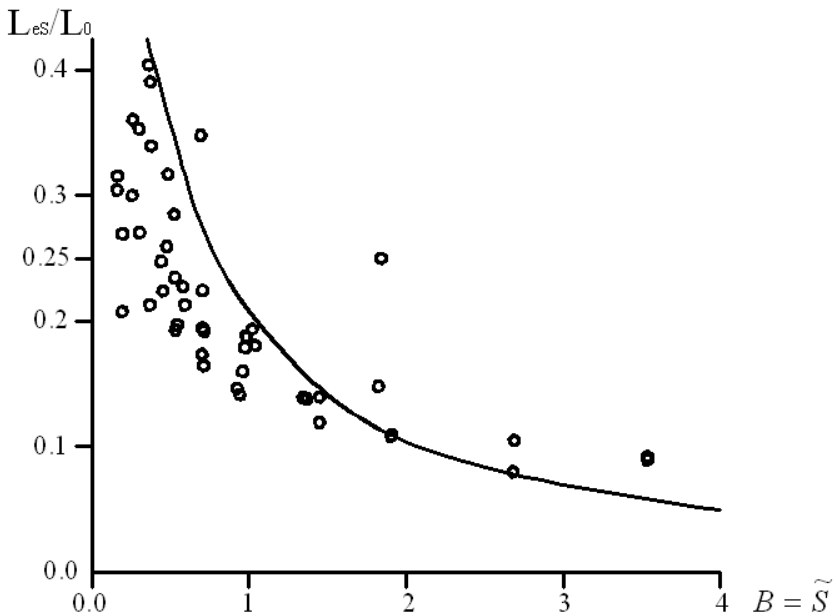


Рис. 5 – Залежність  $L_{es}$  від параметрів  $B$  для біофільтра з гравійним завантаженням, що окислюють міські стічні води

○ - дослідні дані, — - розрахункова пряма

Висновки: наведені порівняльні результати і їх аналіз свідчать про те, що запропоновані моделі і розроблені на їх основі методи розрахунку в цілому з достатньою адекватністю описують і відображають процеси очистки стічних вод на краплинних біофільтрах.

Проте треба зазначити, що в запропонованих, як і в інших існуючих розрахункових рекомендаціях, які, як правило, побудовані на основі аналізу дослідних даних, безпосередньо не знайшли відображення ряд важливих складових очистки, зокрема параметри біоплівки, швидкості кінетичних реакцій в біоплівці та інші. Тому в кожному випадку слід чітко визначити правила і межі використання цих рекомендацій.

Тут можна погодитися з думкою відомих спеціалістів, що всі експериментальні криві, які описують результати обробки стоків (ефективність обробки чи концентрацію забруднень на виході із системи очистки), які у великій кількості можна знайти в літературі, характеризуються великим розкидом даних. Це свідчить про те, що подібні прості правила щодо навантаження не можуть врахувати всі численні обставини, які складаються на практиці [1, 2].

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Henze M., Harremoës P., Jansen C., Arwin E. Wastewater Treatment-Springer-Berlin, New York, 2002 – 430 p.
2. Henze M., M. Van Loosdrecht M.E., Ekama G.A., Brdjanovic D. Biological Wastewater Treatment // IWA Publishing, London, 2008 – 511 p.
3. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод – М. АСВ. 2002 – 704 с.
4. СНиП. 2.04.03 – 84. Канализация. Наружные сети и сооружения // Госстрой СССР – М.: Стройиздат, 1985 – 73 с.
5. Таварткиладзе И.М., Клепикова В.В. Очистка сточных вод на биофильтрах. – К. Будівельник, 1983 – 70 с.
6. Олейник А.Я., Колпакова О.А. К расчету очистки сточных вод на биофильтрах (капельных фильтрах). // Проблемы водопостачання, водовідведення та гідравліки. – К. КНУБА, 2011 – Вип. 16. – С. 86–106.
7. Wanner O., Ebert N.I., Rittman B.E. Mathematical Modeling of biofilms // Scientific and Technical report, № 18 – 2006 – 208 p.
8. Олейник А.Я., Василенко Т.В., Рыбаченко С.А., Хамид Ихаб Ахмад. Моделирование процессов доочистки хозяйственно-бытовых сточных вод на фильтрах // Проблемы водопостачання, водовідведення та гідравліки – 2006 – вип. 7 – С. 85–97.
9. Bruce E. Logan, Stawonir W. Hermanowicz, Denny S. Parker. Engineering implications of a new trickling filter model // WPCF, vol. 39, № 12 – 1987 – P. 1017–1028.
10. Bruce E. Logan, Stawonir W. Hermanowicz, Denny S. Parker. A fundamental model for trickling filter process design // WPCF, vol. 39, № 12 – 1987 – P. 1029–1042.
11. Liao Q., Tian X., Chen R., Zhu X. Mathematical model for gas liquid two-phase flow and biodegradation of a low concentration volatile organic compound (VOC) in a trickling biofilter // Internal. J. of Heat and Mass Transfer – 2007 – P. 1–13.
12. Person F., Wik T., Sorensson F., Hermanson M., Distribution and activity of ammoniac bacteria in a large-scale trickling filter // Wet. Res., 2002 – 36 – P. 1439–1448.
13. Олейник А.Я., Кравчук А.М., Колпакова О.А. Теоретическое обоснование очистки сточных вод на капельных биофильтрах / Доповіді НАНУ – 2012 – № 3 – С. 179–183.
14. Кравчук А.М., Колпакова О.А. Моделирование процессу вилучення органічних забруднень на краплинних фільтрах / Вісник ОДАБА, м. Одеса – 2011 – вип. 13 – С. 120–126.

15. Кравчук А.М., Колпакова О.А. «Практичні рекомендації до розрахунку очистки стічних вод на краплинних біофільтрах». // Науково-технічний збірник. «Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки» Київ, 2014. вип. 24, С. 147–155.
16. Wimpenny I., Manz W., Szewzyk U. Heterogeneity in biofilms // FEMS Microb. Rev. – 2000 – Vol. 24. – P. 661–671.
17. Perez I., Piccioreanu C., van Loosdrecht M. Modelling biofilm and flosdiffusion processes based on analytical sokution of reaction – diffusion equations // Wat. Res. 2005, vol. 39 – P. 1311–1323.
18. Lee K.M., Stensel H.D. Aeration and substrate utilization in a sparged packed – biofilm reactor // WPCF, vol. 58, № 11 – p.p. 1065–1073.
19. Келарева Д.А., Кравчук А.М., Олійник О.Я. Моделювання сумісного вилучення органічних забруднень і азоту при очистці стічних вод біофільтрацією // Доповіді НАНУ – 2012 – № 5 – С. 179–183.
20. Рибаченко С.О. Аеробна доочистка стічних вод на затоплених фільтрах / Дис. канд. техн. наук 05.-23.-4 – КНУБіА, 2-11 – С. 143.
21. Mann A.T., Stephenson T. Modelling biological aerated filters for wastewater treatment // Wat. Res., vol. 31, № 10 – 1997 – С. 2443–2448.
22. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Биологические фильтры. – М.: Стройиздат, 1982 – 120 с.
23. Яковлев С.В., Воронов Ю.В., Кореньков В.Н. Соломеев В.П. Исследования биофильтров с жесткими пластмассовыми загрузками // Тр. Ин-та ВНИИ ВОДГЕО Сб. статей «Материалы по очистке сточных вод». – М.: 1972. – С. 14–17.
24. Воронов Ю.В., Кореньков В.Н. Карелина О.Я. Исследования работы биофильтра с мягкой пластмассовой загрузкой // Тр. Ин-та ВНИИ ВОДГЕО Сб. статей «Материалы по очистке сточных вод». – М.: 1972. – С. 51–56.
25. Вавилин В.А. Нелинейные модели биологической очистки и процессов самоочищения в реках. – М.: Наука, 1983. – 159 с.

*Стаття надійшла до редакції 19.12.2014*



УДК 626/627 ; 504.05

С.В. АТАЄВ, Д.В. СТЕФАНИШИН

## ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІН ГІДРОЛОГО-МОРФОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РІЧОК ПРИ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОМУ ОБГРУНТУВАННІ ПРОЕКТІВ ВІДНОВЛЕННЯ МАЛИХ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

*Анотація.* Розглянуто проблему прогнозування змін гідролого-морфологічних характеристик річок на прикладах проектів відновлення Чижівської, Більче-Золотецької та Велико-Сорочинської малих гідроелектростанцій. Обґрунтовано важливість обмеження напору як основного чинника змін гідролого-морфологічних характеристик рік та запропоновано методи їх прогнозування при техніко-економічному обґрунтуванні проектів.

*Ключові слова:* верхній і нижній б'єфи, відновлення малих гідроелектростанцій, гідролого-морфологічні характеристики, оцінка впливу на навколишнє середовище, прирічкові території, прогнозування, техніко-економічне обґрунтування.

**Актуальність проблеми.** Відновлення малих гідроелектростанцій (МГЕС) на перший погляд є нескладною інженерно-технічною задачею і в більшості випадків зводиться до капітального ремонту гідроспоруд й заміни гідроенергетичного та механічного обладнання. Однак різні варіанти відновлення, зокрема ті, що супроводжуються реконструкцією гідроспоруд, модернізацією та зміною режимів експлуатації МГЕС, можуть призводити до змін гідролого-морфологічних характеристик річок, що негативно впливають на екологію річок та прилеглих до них територій. Чинниками таких змін при відновленні МГЕС можуть бути встановлені при техніко-економічному обґрунтуванні (ТЕО) техніко-економічні показники МГЕС, зокрема такі показники, як розрахунковий напір, режими рівнів води в б'єфах, кількість та потужність гідроагрегатів, розрахункові турбінні витрати води тощо. Прогнозування змін гідролого-морфологічних характеристик річок актуально для здійснення об'єктивної оцінки впливу на навколишнє середовище (ОВНС) проектної діяльності, оцінки загального екологічного стану річки та прирічкових територій, оцінки впливу МГЕС на окремі елементи довкілля, на умови життєдіяльності місцевого населення, на народногосподарські об'єкти, на природні та інші об'єкти, що підлягають охороні і розміщуються в руслі ріки та на прирічкових територіях у верхньому і нижньому б'єфах.

**Об'єкт, предмет та мета досліджень.** Розрахунковий напір, режими рівнів води у б'єфах, турбінні витрати води є не лише важливими техніко-економічними показниками МГЕС, але і основними чинниками, що викликають зміни гідролого-морфологічних характеристик рік, які можуть негативно впливати на стан довкілля [1, 2]. Збільшення напору, корисного об'єму водосховища, турбінних витрат води в процесі відновлення МГЕС може

посилювати абразію берегів водосховища, річкову ерозію в нижньому б'єфі, змінювати розподіл зон акумуляції наносів різних фракцій у верхньому б'єфі, інтенсифікувати процеси трансформації русла ріки у нижньому б'єфі, сприяти підтопленню та заболочуванню нових ділянок прирічкових територій тощо, що, в результаті, погіршує стан довкілля та завдає шкоди місцевому населенню. Тому рішення щодо призначення основних техніко-економічних показників МГЕС при складанні ТЕО проектів їх відновлення слід обґрунтувати відповідними оцінками та прогнозами змін гідролого-морфологічних характеристик річок.

*Об'єктом досліджень* у статті є зміни гідролого-морфологічних характеристик річок при відновленні об'єктів малої гідроенергетики.

*Предметом досліджень* є прогнозування змін гідролого-морфологічних характеристик річок в залежності від варіантів відновлення МГЕС.

*Метою досліджень* є пропозиції щодо прогнозування гідролого-морфологічних характеристик річок на стадії ТЕО проектів відновлення МГЕС.

**Розрахунковий напір як основний чинник змін гідролого-морфологічних характеристик рік.** Об'єкти малої гідроенергетики, що були вибрані нами в якості прикладів, були законсервовані ще в 80-х рр. минулого століття, і з тих пір регулювання рівнів води у б'єфах відбувалося природним чином. В рамках ТЕО проектів відновлення Велико-Сорочинської на р. Псел в Полтавській області, Чижівської на р. Случ в Житомирській області та Більче-Золотецької МГЕС на р. Серет в Тернопільській області пропонувалися наступні варіанти реконструкції гідроспоруд і модернізації МГЕС:

*варіант 1* – застосування більш вартісних гідроагрегатів з можливістю не збільшувати напір, що використовувався раніше, і таким чином зберегти в максимально недоторканому стані поточний стан довкілля, що сформувався в попередні роки консервації об'єктів;

*варіант 2* – підняття розрахункового напору на 2–3 м, що дозволяло б збільшити встановлену потужність станцій при менш вартісних агрегатах.

Таким чином, розрахунковий напір розглядався в якості основного чинника змін гідролого-морфологічних характеристик рік при відновленні МГЕС.

В першому наближенні, в залежності від напору, величина поширення статичного підпору води вздовж течії ріки у верхньому б'єфі буде [2]:

$$L_{\text{під}} = k \frac{H}{I}, \quad (1)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що залежить від типу водотоку,  $k = 1,2 \div 2,2$ , встановлюється за аналогами шляхом розв'язання оберненої задачі;  $H$  – напір, м;  $I$  – ухил ділянки водотоку, м/км.

Зони виклинювання підпору води у верхніх б'єфах Велико-Сорочинської, Чижівської та Більче-Золотецької МГЕС при їх відновленні за варіантом 1 наведено на рис. 1. Розрахунки показали, що заплановане за варіантом 2 збільшення напору призведе до збільшення величини поширення статичного підпору води на Велико-Сорочинській МГЕС з 12 до 22 км, Чижівської МГЕС – з 5 до 16 км, Більче-Золотецької МГЕС – з 5 до 12 км.

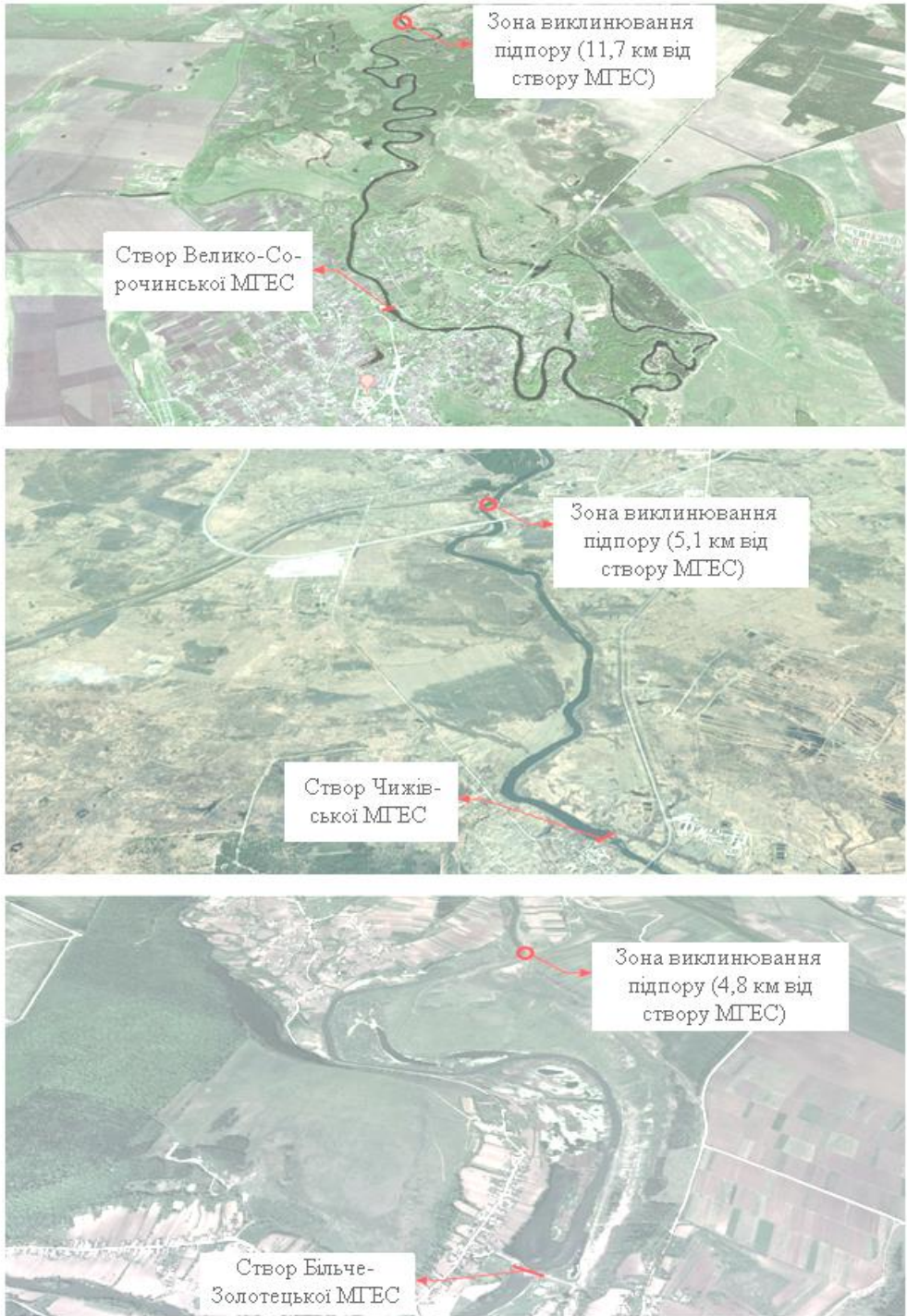


Рис. 1 – Поширення статичного підпору води у верхніх б'єфах Велико-Сорочинської, Чижівської та Більче-Золотецької МГЕС при їх відновленні за варіантом 1

Відповідно, протяжність зон переформування русел та берегової лінії у верхніх б'єсах Велико-Сорочинської, Чижівської та Більче-Золотецької МГЕС при запланованому збільшенні напору  $\sim 1,5$  разу зросте в 2–3 рази.

Збільшення напору призведе також до збільшення площ водної поверхні водосховищ МГЕС, збільшення площ не тільки постійного, а й тимчасового затоплення і підтоплення прирічкових територій. При існуючих й попередніх напорах на МГЕС під затоплення і підтоплення, в тому числі тимчасове, попадають лише землі водного фонду відповідних ділянок водотоків. Однак навіть незначне збільшення встановленого напору може загрожувати тимчасовими затопленнями і підтопленнями не лише землям водного фонду, а і ділянкам житлової забудови населених пунктів, особливо при відновленні Велико-Сорочинської МГЕС.

На рис. 2 показано межі зон постійного й тимчасового затоплення прирічкових територій при піднятті напору на Велико-Сорочинській МГЕС на 1,5 м. При цьому, якщо при піднятті напору на 1,5 м затоплюється лише водоохоронна зона р. Псел, то при збільшенні встановленого напору ще на 0,5 м тимчасове затоплення при проходженні паводків загрожуватиме житловим будівлям та угіддям.



Рис. 2 – Межі затоплення прилеглих територій на ділянці Великих Сорочинців при піднятті напору на Велико-Сорочинській МГЕС на 1,5 м

збільшенням величини встановленого напору рівень зарегулювання річок за рахунок збільшення корисного об'єму водосховища закономірно зростає. Однак це зростання відбувається по-різному на різних ріках, що також може вказувати на допустимість чи недопустимість збільшення напору при відновленні МГЕС.

При цьому, в одних випадках важливо, щоб при відносно меншому збільшенні встановленого напору на МГЕС забезпечувалося відносно більше зростання величини коефіцієнта трансформації стоку, в інших – навпаки.

При зміні напору змінюється рівень зарегулювання водотоку. В якості показника рівня зарегулювання стоку ріки можна використати коефіцієнт трансформації стоку [1]:

$$\beta = W_k / W_0 ; \quad (2)$$

де  $W_k$  – корисний об'єм водосховища, млн.  $m^3$ ;  $W_0$  – об'єм річкового стоку, млн.  $m^3$ .

У табл. 1 наведені результати розрахунків коефіцієнта трансформації річкового стоку при двох варіантах встановлення розрахункового напору при відновленні Велико-Сорочинської, Чижівської та Більче-Золотецької МГЕС. Можна зауважити, що зі

Якщо, наприклад, поряд з відновленням МГЕС переслідується й мета підвищити надійність водопостачання населених пунктів, промислових об'єктів, забезпечити можливість використання водних ресурсів для потреб сільського господарства тощо, то збільшення коефіцієнта трансформації стоку сприятиме реалізації цієї мети.

Таблиця 1. Результати розрахунку коефіцієнтів трансформації річкового стоку при різних варіантах відновлення МГЕС

МГЕС	Напір $H$ , м		Корисний об'єм водосховища $W_k$ , млн м <sup>3</sup>		Коефіцієнт трансформації стоку $\beta$	
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 1	Варіант 2
Велико-Сорочинська	2,24	4,24	0,81	1,59	0,0007	0,0012
Чижівська	2,75	5,75	0,98	2,94	0,0007	0,0025
Більче-Золотецька	6,00	8,50	2,14	5,35	0,0007	0,0017

Якщо мета комплексного використання водних ресурсів не переслідується, або коли значна увага приділяється вирішенню екологічних проблем в б'єфах, то більш прийнятним варіантом є відносно менше збільшення коефіцієнта трансформації стоку в порівнянні з відносно більшим зростанням напору.

Так, якщо у випадку Чижівської МГЕС при збільшенні встановленого напору в 2,09 разу коефіцієнт трансформації стоку збільшується в 3,57 разу, для Більче-Золотецької при збільшенні напору в 1,42 разу коефіцієнт трансформації стоку збільшується в 2,43 разу, то для Велико-Сорочинської МГЕС при збільшенні напору в 1,89 разу маємо збільшення коефіцієнта трансформації стоку лише в 1,71 разу. Відповідно можуть розглядатися різні варіанти комплексного використання водних ресурсів при відновленні МГЕС.

**Прогнозування основних гідролого-морфологічних характеристик річок при відновленні експлуатації МГЕС.** При експлуатації руслових МГЕС в б'єфах спостерігається перепад рівнів води, пов'язаний з витратами води, що проходять через турбіни.

Перепад рівнів води  $h_w$  в б'єфах буде пропорційним приросту витрати води, що проходить через живий переріз водойми (водотоку), та залежатиме від ширини водойми (водотоку)  $B$  в б'єфі [3]:

$$h_w = \frac{\Delta Q}{(gh)^{0,5} \cdot B}, \quad (3)$$

де  $\Delta Q$  – максимальна пропускна здатність турбін, м<sup>3</sup>/с;  $g$  – прискорення вільного падіння, 9,8 м/с<sup>2</sup>;  $h$  – середня глибина води в б'єфі, м.

В нижньому б'єфі при цьому виникає хвиля попуску, яка переміщується вниз за течією, максимальне значення амплітуди якої буде [3]:

$$A_l = h_w \cdot e^{-2\pi\left(\frac{l}{T \cdot u}\right)}, \quad (4)$$

де  $l$  – середня довжина, м,  $T$ ,  $u$  – період та швидкість переміщення хвилі попуску.

У табл. 2 наведені результати прогнозування перепаду рівня води у верхньому б'єфі для двох варіантів відновлення МГЕС при максимальних турбінних витратах.

Таблиця 2. Результати розрахунків перепаду рівнів води у верхніх б'єфах МГЕС при різних варіантах їх відновлення

МГЕС	Турбінна витрата $\Delta Q$ , м <sup>3</sup> /с		Середня глибина в б'єфі $h$ , м		Перепад рівня в б'єфі $h_w$ , м	
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 1	Варіант 2
Велико-Сорочинська	37	42	2,0	3,5	0,21	0,19
Чижівська	26	38	2,3	3,2	0,06	0,09
Більче-Золотецька	30	37	3,5	4,0	0,12	0,08

Інтенсивність абразії берегової лінії водосховища  $X$ , м/рік, можна оцінити за наступною формулою [4]:

$$X = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \frac{\rho_w}{\rho} \frac{(h + h_1)}{(H + h_a)} (B - 2B_1), \quad (5)$$

$$k_1 = [B_1 / (B - B_1)]^2, \quad k_2 = \frac{1}{2h_a} [(h_1 - h_0) + (t_1/t)(h_0 - h_2)], \quad k_3 = \frac{h_1}{h_a}, \quad (6)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт асиметрії русла;  $k_2$  – коефіцієнт розмиву берегів;  $k_3$  – коефіцієнт зволоження ґрунтів берегової лінії;  $B_1$  – ширина водойми від лінії найбільшої глибини до розмиваючого берегу, м;  $h_a$  – висота берега водойми, м;  $h_1$  – висота рівня води у водосховищі під час піку повені, м;  $h_0$  – висота рівня води у межінь, м;  $h_2$  – висота рівня води в момент закінчення повені, м;  $t_1$  і  $t$  – тривалість повені від початку до піку та закінчення, відповідно, діб;  $\rho_w$  – щільність води, т/м;  $\rho$  – середня щільність ґрунтів берегової лінії, г/см<sup>3</sup>.

Результати прогнозування інтенсивності абразії берегової лінії водосховищ Велико-Сорочинської, Чижівської та Більче-Золотецької МГЕС для двох варіантів їх відновлення наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Результати прогнозування інтенсивності абразії берегової лінії водосховищ МГЕС при різних варіантах їх відновлення

МГЕС	Швидкість абразії $X$ , м/рік	
	Варіант 1	Варіант 2
Велико-Сорочинська	0,47	1,74
Чижівська	0,39	1,23
Більче-Золотецька	0,16	1,04

Відстань, на якій прогнозується осідання наносів на дно водосховища  $L_\zeta$ , км, довжину призми замулення  $L_0$ , км, відстань, на яку прогнозується поширення регресивної акумуляції наносів  $L$ , км, можна оцінити за формулами [1, 2]:

$$L_\zeta = \frac{h}{v_{in}} v_{nd}, \quad (7)$$

$$L_0 = \frac{H - h_3}{I - I_3}, \quad (8)$$

$$L = \frac{\Delta H}{I - I_3}, \quad (9)$$

$$v_{in} = w \left( 1 - \frac{v_{nd}}{v_n} \right), \quad v_n = 3,83d^{1/3} h^{1/6}, \quad \zeta = 3,78n^2 \sqrt{\frac{B \cdot g \cdot w \cdot S_m}{Q}}, \quad h_\zeta = Q / 1,73 \sqrt{g \cdot w \cdot S_i}, \quad (10)$$

де  $v_{oc}$  – швидкість осідання наносів, м/с;  $v_n$  – критична швидкість розмиву, м/с;  $v_{cp}$  – середня швидкість течії, м/с;  $w$  і  $d$  – середня та максимальна крупність наносів, мм;  $\zeta$  і  $h_\zeta$  – ухил та глибина ділянки водотоку, при яких процеси акумуляції наносів припиняються;  $n$  – коефіцієнт шорсткості;  $S_m$  – мутність води, г/м<sup>3</sup>;  $Q$  – витрата води, що проходить через створ МГЕС, м<sup>3</sup>/с;  $\Delta H$  – різниця між відмітками підпертого та природного рівнів води, м.

Результати прогнозування замулення водосховищ Велико-Сорочинської, Чижівської та Більче-Золотецької МГЕС для двох варіантів їх відновлення наведено у табл. 4.

Таблиця 4. Результати прогнозування замулення водосховищ МГЕС при різних варіантах їх відновлення

МГЕС	Відстань $L_c$ , км		Відстань $L_0$ , км		Відстань $L$ , км	
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 1	Варіант 2
Велико-Сорочинська	2,20	2,97	2,1	2,8	1,1	2,1
Чижівська	2,70	5,65	1,3	2,3	4,4	8,9
Більче-Золотецька	5,89	8,35	1,0	1,5	5,3	7,4

Параметри трансформації русла в нижньому б'єфі, в першому наближенні, можна оцінити за формулами [2, 3]:

$$\Delta z_t = \Delta z_0 \cdot t^{-\alpha}, \quad (11)$$

$$h_{i\bar{a}} = k \frac{Q \cdot I}{B \cdot d}, \quad (12)$$

де  $\Delta z_t$  – відмітка рівня води у нижньому б'єфі через  $t$  років експлуатації МГЕС, м, при початковій відмітці  $\Delta z_0$ ;  $h_{i\bar{a}}$  – глибина ями розмиву в руслі, м;  $Q$  – витрата води, м<sup>3</sup>/с;  $I$  – ухил ділянки русла;  $B$  – ширина русла;  $d$  – максимальна крупність наносів;  $\alpha$ ,  $k$  – емпіричні коефіцієнти, що можуть встановлюватися за аналогами шляхом розв'язання обернених задач.

**Висновки.** Різні варіанти відновлення МГЕС в різній мірі можуть при зводити до змін гідролого-морфологічних характеристик річок, що негативно впливають на екологію річок та прилеглих до них територій. Прогнозування цих змін є актуальною задачею в рамках ОВНС проектної діяльності, оцінки загального екологічного стану річки та прирічкових територій. В якості основного чинника змін гідролого-морфологічних характеристик рік при відновленні МГЕС може розглядатися напір, при цьому однією з задач ОВНС при відновленні МГЕС має бути порівняння варіантів встановлення різних розрахованих напорів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Авакян А.Б. Опыт экологизации урвеневого режима водохранилищ (на примере Ивановского) / А.Б. Авакян, А.Е. Асарин // Пространственная структура и динамика распределения рыб во внутренних водоёмах. – Ярославль: ЯТГУ, 1998. – С. 71–83.
2. Беркович К.М. Русловые процессы на реках в сфере влияния водохранилищ / К.М. Беркович. – М.: Географический факультет МГУ, 2012. – 163 с.
3. Simon A. Adjustment and recovery of unstable alluvial channels: identification and approaches for engineering management / A. Simon // Earth Surface Processes and Landforms. Vol. 20. 1995. – P. 165–187.
4. Рекомендации по оценке и прогнозу размыва берегов равнинных рек и водохранилищ для строительства / ПНИИИС. – М.: Стройиздат, 1987. – 72 с.

*Стаття надійшла до редакції 18.02.2015*



УДК 532.5

**В.А. ВОСКОБІЙНИК, В.В. ХОМИЦЬКИЙ, О.А. ВОСКОБОЙНИК,  
А.В. ВОСКОБІЙНИК, І.А. ХИЖА**

### **ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЧІЇ ПОБЛИЗУ ГНУЧКОЇ СТРУМЕНЕНАПРАВЛЯЮЧОЇ ЗАВІСИ**

***Анотація.** Наведено результати експериментальних досліджень кінематичних характеристик течії поблизу полотнища гнучкої завіси моделі струмененаправляючої споруди, спроектованої для акваторії Ташлицького водосховища-охолоджувача Південно-Української АЕС. Візуальні дослідження та вимірювання полів швидкості показали, що поблизу тупикової частини споруди генеруються великомасштабна циркуляційна структура та дрібно-масштабні коловороти. В області звуження потоку формується інтенсивна струменева течія у широкому діапазоні чисел Фруда.*

***Ключові слова:** струмененаправляюча споруда, полотнище гнучкої завіси, поле швидкості, циркуляційна течія, струменева течія.*

**Вступ.** Відомо [1], що у енергозабезпеченні народногосподарського комплексу України провідну роль відіграють атомні електростанції, на частку яких припадає близько 50% електроенергії, що виробляється електростанціями України. Одна з найважливіших умов надійної експлуатації АЕС – безперебійне водозабезпечення, джерелами якого слугують ріки, водосховища та водойми-охолоджувачі. Серед основних гідрологічних чинників, що визначають умови функціонування екосистем водойм-охолоджувачів атомних електростанцій України, важливе місце посідають водообмін, гідродинаміка водосховища і тепловий (термічний) режим водних мас. Сучасні досягнення в галузі дослідження турбулентної дифузії у водних об'єктах дають змогу оцінювати процеси вертикального перемішування, в тому числі у водоймах-охолоджувачах енергетичних об'єктів. Нехтування цими процесами вже призвело до порушень в експлуатації деяких водойм-охолоджувачів. Так, на водоймі-охолоджувачу Чорнобильської АЕС значна частина об'єму води (нижче 7–9-метрової ізобати) брала слабку участь в охолодженні підігрітих вод, що скидаються станцією. Те саме стосується і Ташлицької водойми [1].

Ташлицьке водосховище-охолоджувач Південно-Української АЕС працює у важких умовах термічного режиму. Його охолоджувальної спроможності недостатньо для ефективної роботи трьох енергоблоків станції. Це призвело до необхідності проведення детальних досліджень можливостей поліпшення термічного режиму водосховища-охолоджувача. Як показано у роботі [2], схема компоновки водозабірних і водовипускних споруд Ташлицького водоймища-охолоджувача відноситься до так званого сумісного типу, коли розділення потоків відбувається за рахунок вертикальної стратифікації температури води. Недоліком такої схеми є залучення теплих вод верхнього шару потоку у нижні його шари. У роботі [3] запропоновано зменшити цей ефект застосуванням струмененаправляючої завіси, яка спроможна розділити теплі води, що скидаються у водоймище, від вод нижнього шару водоймища, які потрапляють у водозабірні споруди.

Будівництво струмененаправляючої завіси має вирішити дві задачі, а саме, по-перше, направити потік теплої води на водозабір бризкальних басейнів, для підвищення їх ефективності та, по-друге, зменшити частину теплих вод верхнього шару у потік, що направлено до водозабору атомної електростанції. Це дозволяє розділити потік не тільки по вертикалі, а й по горизонталі. Як показали розрахунки [4], струмененаправляюча споруда, що досягає дна водосховища, розділяє потоки води на водоскиді та водозабір, поліпшуючи таким чином тепловий режим роботи Ташлицького водосховища-охолоджувача. За таких умов різниця температур на водоскиді і водозабір досягає декілька градусів [4]. Зі зміною температурного режиму верхніх шарів водосховища, котрі прилягають до струмененаправляючої споруди, змінюються у часі гідрологічні, термодинамічні, гідрохімічні та продукційно-деструкційні процеси, що визначають формування якості води та розвиток певних біоперешкод у роботі технологічних систем водозабезпечення. Адже температурний чинник є визначальним у формуванні структури угруповань гідробіонтів і значною мірою впливає на розвиток інвазивного процесу [1]. Під впливом теплових водоскидів у водоймах-охолоджувачах виникають активні гідродинамічні зони направленої руху теплої та холодної води, утворюються циркуляційні течії або коловороти. Наявність такої складної гідродинамічної структури обумовлює багато важливих для водосховищ-охолоджувачів особливостей, а саме, формування і рух водних мас, термічний, газовий та біогенний режими, пересування та осідання мінеральних і органічних суспензій, процеси самоочищення води, які створюють умови існування флори та фауни. Так, у водосховищах-охолоджувачах зареєстровано десятки видів водоростей, безхребетних і риб, не характерних для флори і фауни України [1].

Враховуючи важливість будівництва струмененаправляючої споруди в акваторії Ташлицького водосховища-охолоджувача з точки зору підвищення видобутку електроенергії та поліпшення екологічної безпеки, виникає нагальна потреба у проведенні науково-дослідних робіт з визначення теплофізичних і гідродинамічних характеристик течії поблизу споруди та впливу її на конструктивні елементи споруди і навколишнє середовище [5, 6].

**Мета роботи** – визначення особливостей формування і кінематичних характеристик струменевих і циркуляційних течій поблизу полотнища гнучкої завіси моделі струмененаправляючої споруди, яку спроектовано для акваторії Ташлицького водосховища-охолоджувача Південно-Української АЕС. Роботу виконано методами фізичного моделювання з використанням візуалізації течії та вимірювання поля швидкості термоанемометрами, датчиками швидкісного напору та визначенням швидкості руху мічених частинок і контрастних речовин.

**Експериментальний стенд і методика дослідження.** Експериментальні дослідження проведено у спеціально збудованому гідродинамічному каналі (рис. 1), де було виготовлено модель струмененаправляючої споруди з рельєфом дна, що відповідає місцю розташування споруди у Ташлицькому водосховищі-охолоджувачі. Гідродинамічний канал довжиною 14 м, шириною 1,5 м і глибиною 0,7 м мав відкриту поверхню води. У вхідній частині каналу було виготовлено нішу довжиною 4,2 м, шириною 0,8 м і глибиною 0,7 м, де потік води за допомогою направляючих конструкцій, показаних ліворуч на

рис. 1, направлявся перпендикулярно поздовжній осі каналу. Модель струмененаправляючої споруди було виготовлено у горизонтальній площині масштабом 1:100 і у вертикальній площині – масштабом 1:25 відносно натури.



Рис. 1 – Модель струмененаправляючої споруди у гідродинамічному каналі

Модель гнучкої завіси довжиною майже 9 м і шириною 0,6 м було виготовлено з армованої поліестерової тканини «Sealtex 650» товщиною  $0.7 \cdot 10^{-3}$  м. Верхня частина полотнища, яку кріпили до пінопластових понтонів, була підгорнута і проклеєна для надання їй більшої міцності. У нижній частині полотнища встановлювалися люверси, через які полотнище завіси кріпилося до рельєфного дна каналу. Понтони за допомогою якірної системи також кріпилися до дна каналу у відповідності до схеми, яку спроектовано для натурної споруди.

Згідно з розробленою програмою та методикою проведення фізичного моделювання спочатку проводилися візуальні дослідження, визначалися характерні області формування циркуляційної та струменевої течії, а згодом у цих місцях проводилися інструментальні вимірювання з метою визначення кінематичних характеристик потоку.

Під час проведення візуальних досліджень у якості контрастної речовини використовувалися кольорові чорнила і барвники, а також поплавці, пінопластові кульки, деревинна тирса і зважені частинки діаметром близько 1 мм нейтральної або близької до нейтральної плавучості. Кольорові чорнила або

барвники вводилися у потік мініатюрними трубками, які закріплювалися у державках координатних пристроїв. В залежності від швидкості набігаючого потоку витрати барвників регулювалися, а координатні пристрої давали можливість розташувати струмінець барвника у те місце, де необхідно було провести візуалізацію течії.

Реєстрацію картин візуалізації гідродинамічних процесів було проведено за допомогою відео- та фотоапаратури, з подальшою роздруківкою знімків і аналізом отриманих відеоматеріалів. Найбільш інформативні кадри та картини процесів переводилися у «цифру» і заносилися у персональний комп'ютер для обробки та аналізу результатів за допомогою спеціальних програм і методик [7, 8]. Результати візуальних досліджень оброблялися на спеціально створених графічних станціях, де проводилося прискорене та загальмоване відтворення відеозаписів або покадровий аналіз даних. Графічні станції на базі двоядерних або чотириядерних процесорних комп'ютерів, які мали велику пам'ять та швидкодію, дали можливість спостерігати контрастні речовини і мічені частинки у складному вихровому полі. Роздільна здатність на рівні одиниць пікселів дозволила досить точно визначити траєкторії руху мічених частинок і вектори швидкостей їх переносу у вихровому потоці.

Під час вимірювань поля швидкості використовувалися плівкові одно- або двокомпонентні термоанемометри фірми «Disa» (Данія), а також спеціально розроблені та виготовлені п'єзокерамічні й п'єзорезистивні датчики швидкісного напору або динамічного тиску, які було виготовлено у вигляді трубки Піто (діаметр чутливої поверхні змінювався від  $0.8 \cdot 10^{-3}$  м до  $1.2 \cdot 10^{-3}$  м, в залежності від конструкції датчика) (рис. 2а) або трубки Піто подвійного напору, коли отвір однієї трубки розташовувався назустріч потоку, а отвір другої трубки – у протилежному напрямку, і ці трубки з'єднувалися з диференційним п'єзорезистивним датчиком тиску (рис. 2б).



а)



б)

Рис. 2 – П'єзокерамічні (а) та п'єзорезистивні (б) датчики швидкісного напору або динамічного тиску

Електричні сигнали датчиків надходили на комплект термоанемометричної апаратури фірми «Disa», яка забезпечувала роботу термоанемометрів у режимі сталої температури, а згодом потрапляли на багатоканальні аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП) і далі на комп'ютери. Паралельно цьому аналогові сигнали з виходу блоку підсилення та лінеаризатору типів 55M01



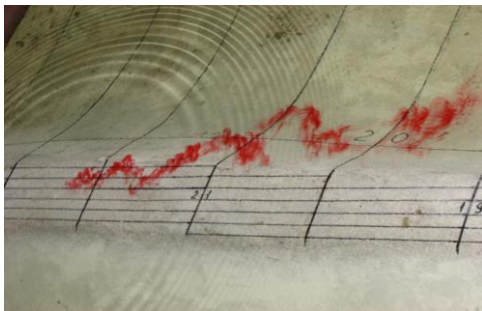
і 55D25 фірми «Disa» реєструвалися на чотириканальні вимірювальні магнітофони типу 7005 фірми «Briel & Кjaer» (Данія). Зокрема, на магнітофон записувалися сигнали віброакселерометрів, які було закріплено на державках датчиків, на полотнищі гнучкої завіси, на стінках гідродинамічного каналу для врахування й компенсації вібраційних завад на результати досліджень.

Згідно з розробленою програмою експериментів, дослідження проводилися за допомогою групи датчиків швидкісного напору, термоанемометрів і вібродатчиків, сигнали з яких оцифровувались восьми- або шістнадцятиканальними АЦП і реєструвалися на комп'ютерах. В дослідженнях використовувалися перетворювачі фірми «L-Card» (12-бітове АЦП «L-154» і 14-бітове АЦП «E-14-440»), які було забезпечено пакетами прикладних програм математичного моделювання для вирішення задач технічних розрахунків, обробки та аналізу експериментальних даних.

Під час досліджень глибина потоку над моделлю водорозподільної дамби ( $H$ ) залишалася сталою й дорівнювала 0,06 м, а швидкість течії над нею ( $U$ ) і витрати у гідродинамічному каналі ( $V$ ) змінювалися від 0,06 м/с до 0,21 м/с і від 0,004 м<sup>3</sup>/с до 0,2 м<sup>3</sup>/с, відповідно. Для цих гідродинамічних параметрів числа Фруда  $Fr = U / \sqrt{gH}$  змінювалися від 0,08 до 0,27, а числа Рейнольдса  $Re_H = UH / \nu$  – від 3600 до 12600.

Перед проведенням досліджень і під час їх проведення проводилися тестування та контроль вимірювального тракту з використанням абсолютних і відносних методів тестування. Визначалися рівні акустичних, гідродинамічних, вібраційних і електромагнітних завад на результати вимірювань, вносилися поправки і компенсації за відповідними методиками. Внаслідок цього розраховувалася похибка отриманих результатів, яка для осереднених значень поля швидкості не перевищувала 3% для вимірювань термоанемометрами, 5% – для вимірювань швидкості переносу мічених частинок та 8% – для вимірювань трубками Піто з довірчою ймовірністю 0,95 або  $2\sigma$ .

**Результати досліджень.** Візуальні дослідження за допомогою кольорових барвників і чорнил, які подавалися у приповерхневий і придонний шар потоку, показали, що переміщення контрастної речовини прискорювалося над поверхнею дамби. При цьому швидкість переносу барвників збільшувалася з віддаленням від тупикової (початкової) частини струмененаправляючої споруди. За дамбою приповерхневий шар потоку прямував до полотнища завіси (рис. 3а), а згодом вздовж полотнища пересувався до виходу зі споруди.



а)



б)

Рис. 3 – Візуалізація течії кольоровими чорнилами (а) та контрастними речовинами позитивної плавучості (б)

Зі збільшенням швидкості течії контрастні речовини, які мали позитивну плавучість, не досягали полотнища завіси, особливо у середній частині споруди, як показано на рис. 3б, через інтенсивний потік вздовж полотнища завіси. На поверхні води плавучі частинки, потрапляючи у декілька дрібномасштабних коловоротів, які змінювали своє місце розташування у тупиковій частині споруди, здійснювали нестійкий циркуляційний рух. Коли потік води досягав завіси, то він прямував до дна каналу, а далі частина його пересувалася вздовж дна назустріч до дамби, утворюючи великомасштабну циркуляційну структуру, а інша частина вздовж полотнища завіси – на вихід з моделі споруди. Вісь цієї циркуляційної течії було спрямовано вздовж полотнища завіси і спостерігалася вона найбільш виразно в області максимальних глибин поблизу завіси.

Поля швидкості, які розраховувалися по швидкості переносу кольорових речовин та вимірювалися термоанемометрами і датчиками швидкісного напору, показано на рис. 4 та рис. 5. Результати отримано для швидкості течії над дамбою 0,09 м/с або для натурної швидкості 0,44 м/с, яка відповідає

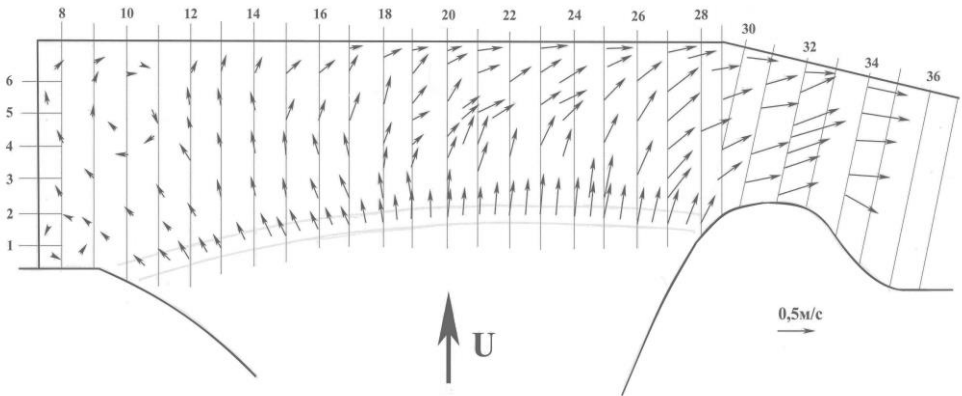


Рис. 4 – Поле швидкості у приповерхневому шарі потоку поблизу струмененаправляючої споруди

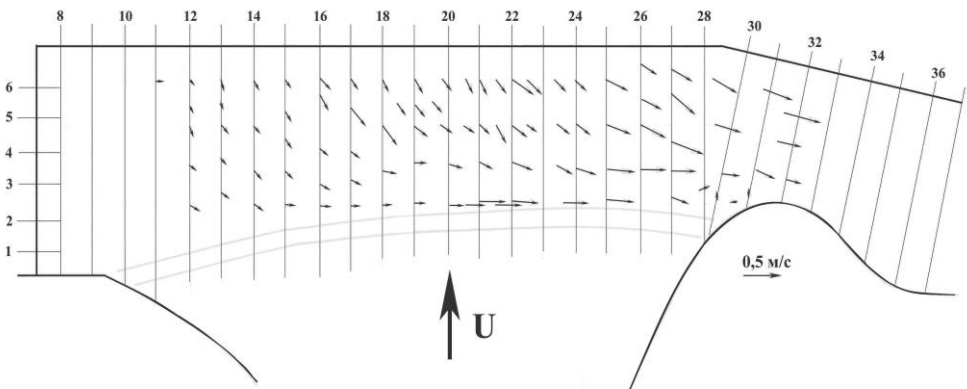


Рис. 5 – Поле швидкості у придонному шарі потоку поблизу струмененаправляючої споруди

максимальній витраті  $147,7 \text{ м}^3/\text{с}$  через водорозподільну дамбу теплого відсіку АЕС. Для цих швидкостей число Фруда, яке розраховано за глибиною потоку для лабораторних або натурних умов, складає  $0,12$ .

На рис. 4 наведено результати вимірювань поля швидкості у приповерхневому шарі потоку на глибині ( $1 \dots 1,2$ ) м для натурних умов. Визначено, що над дамбою швидкість збільшується з наближенням до вихідної частини струмененаправляючої споруди. У тупиковій частині споруди (створи 8–12) швидкість у приповерхневому шарі зменшується, як над дамбою, так і поблизу полотнища завіси. У цій частині споруди спостерігаються області циркуляційної течії та коловороти. В області підйому дна водосховища (створи 19–21) перед полотнищем завіси потік прискорюється і відносно різко змінює свій напрямок, прямуючи на вихід зі споруди. У місці вигину завіси (створи 30–32) потік з великою швидкістю натікає на завісу, примушуючи її вигинатися й генеруючи великі навантаження на якірну систему. Установлено, що в натурних умовах максимальна швидкість у приповерхневому шарі потоку на глибині близькій до  $1$  м спостерігається в області звуження потоку і досягає значення порядку ( $0,65 \dots 0,75$ ) м/с.

Для придонної області досліджуваної моделі струмененаправляючої споруди поле швидкості на відстані близько  $0,02$  м від дна ( $0,5$  м для природи) представлено на рис. 5. У цій частині потоку поле швидкості значно відрізняється від того, що виміряне у приповерхневому шарі. Поблизу дна, особливо у тупиковій області та області найбільших глибин перед полотнищем завіси, зареєстрована обернена течія, яка має напрямок від завіси до водорозподільної дамби, що також спостерігалось під час візуалізації течії. Біля верхівки дамби зі сторони струмененаправляючої завіси має місце відносно великошвидкісна течія, яка спрямована від тупикової частини споруди до виходу з неї. При цьому швидкість цієї течії зростає з наближенням до виходу зі споруди, але перед берегом, який виступає у водосховище (звуження потоку), зафіксовано низькошвидкісну обернену течію. В області звуження потоку швидкість придонної течії збільшується подібно течії у приповерхневому шарі потоку.

Таким чином, результати вимірювання поля швидкості у приповерхневому шарі потоку та у його придонній області для максимальних витрат у натурних умовах показали, що у потоці поблизу полотнища струмененаправляючої завіси існує інтенсивна поперечна циркуляційна течія, вісь якої направлена вздовж полотнища завіси. Як показали візуальні дослідження, найбільш виразно циркуляційна течія спостерігається в області максимальних глибин поблизу полотнища завіси.

Дослідження, проведені для менших швидкостей потоку, показали, що зі зменшенням швидкості циркуляційна течія вироджується і вектори швидкості повільно змінюють свій напрямок від перпендикулярного до паралельного відносно завіси. Для максимальних швидкостей потоку, для яких проводилися експерименти, характерні області формування циркуляційної та струменевої течії спостерігалися більш виразно. Але відношення мінімальних і максимальних швидкостей, як у приповерхневому, так і у придонному шарах потоку залишалися такими ж, як для результатів наведених на рис. 4 і на рис. 5. А саме, максимальні швидкості оберненої течії у придонній частині потоку

складала (0,05...0,1) U, а максимальні швидкості придонної течії, що спостерігалися в області звуження потоку і вектор яких був спрямований на вихід зі споруд, складала (0,6...0,8) U.

**Висновки.** Результати фізичного моделювання течії поблизу моделі струмененаправляючої споруди, що проектується для акваторії Ташлицького водосховища-охолоджувача Південно-Української АЕС, дали можливість зробити наступні висновки:

1. Установлено, що в залежності від швидкості течії або числа Фруда поблизу полотнища струмененаправляючої гнучкої завіси формувалася великомасштабна циркуляційна течія, дрібномасштабні коловороти та струменевий потік, який з прискоренням прямував від тупикової частини споруди до виходу з нього.

2. Візуальні дослідження показали, що швидкість переносу контрастних речовин зменшувалася над тією частиною водорозподільчої дамби, яка знаходилася поблизу тупикової частини струмененаправляючої споруди. За дамбою барвники у приповерхневому шарі потоку прямували до полотнища гнучкої завіси, а згодом вздовж полотнища переносилися у сторону відкритого водосховища. Поблизу полотнища підфарбована рідина конвектувала від приповерхневого шару потоку до його придонної частини, а далі, протилежно напрямку потоку, вздовж дна каналу повільно пересувалася до дамби, утворюючи циркуляційну великомасштабну структуру, вісь якої спрямована вздовж полотнища завіси. Така циркуляційна течія особливо виразно спостерігалася у тупиковій частині споруди там, де мали місце найглибші області потоку поблизу завіси. Визначено, що зі збільшенням швидкості течії плавучі частинки у серединній частині полотнища завіси наближалися на меншу відстань від нього через інтенсивну течію вздовж завіси.

3. Результати вимірювання полів швидкості показали, що над дамбою швидкість росте з наближенням до вихідної частини струмененаправляючої споруди, і це обумовлено гальмуючою дією тупикової частини споруди на потік. У приповерхневому шарі тупикової частини спостерігалися великомасштабні циркуляційні області, дрібномасштабні коловороти та області загальмованої течії. Вздовж полотнища завіси течія спрямована паралельно полотнищу й прискорювалася з віддаленням від тупикової частини споруди. Над областю підйому дна водосховища перед полотнищем завіси у приповерхневому шарі потоку спостерігалася прискорення течії та відносно різка зміна напрямку її руху до виходу із споруди. В області вигину полотнища гнучкої завіси потік з високою швидкістю натікав на полотнище завіси.

4. Визначено, що в натурних умовах максимальна швидкість у приповерхневому шарі потоку на глибині біля 1 м буде спостерігатися в області звуження потоку і досягне значень (0,65...0,75) м/с або (1,5...1,7)U. Установлено, що на глибині 0,5 м над дном водосховища, особливо у тупиковій області споруди та області найбільших глибин перед полотнищем завіси, буде спостерігатися обернена течія, яка має напрямок від завіси до дамби. Максимальна швидкість оберненої течії складатиме (0,05...0,1) середньовитратної швидкості над дамбою. Біля верхівки дамби зі сторони струмененаправляючої завіси буде спостерігатися відносно великошвидкісна течія, спрямована від тупикової частини споруди в сторону її виходу до водосховища-охолоджувача. Швидкість цієї течії збільшуватиметься з наближенням до виходу споруди, але перед берегом, що виступає у водосховище (звуження



поток), буде спостерігатися обернена течія зі швидкістю порядку 0,05 м/с. В області звуження потоку швидкість придонної течії збільшуватиметься подібно течії у приповерхневому шарі потоку.

5. Рекомендовано, враховуючи отримані кінематичні характеристики течії поблизу полотнища струмененаправляючої гнучкої завіси, провести дорожку проектної документації та віднести зону вигину завіси за область звуження потоку. Таким чином, буде зменшена швидкість течії поблизу завіси у цій області та зменшаться динамічні навантаження, як на саме полотнище гнучкої завіси, так і на якірну систему струмененаправляючої споруди. Перенесення зони вигину полотнища гнучкої завіси у конфузорну частину струмененаправляючої споруди зменшить гідравлічний опір споруди та збільшить швидкість течії на виході з неї. Це призведе до підвищення температури води поблизу струмененаправляючої споруди та викличе екологічні зміни в цій зоні водосховища, ступінь яких треба буде визначити в подальших науково-дослідних роботах.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Романенко В.Д. Гідроекологічна безпека атомної енергетики в Україні / В.Д. Романенко, М.І. Кузьменко, С.О. Афанасьєв, Д.І. Гудков [и др.] // Вісник НАН України. – 2012. – № 6. – С. 41–51.
2. Доманов В.Н. Процессы теплообмена водоемов–охладителей с атмосферой / В.Н. Доманов, А.Г. Костин, Е.И. Никифорович. К.: НПП «Издательство Наукова думка НАН Украины», 2011. – 319 с.
3. Антонова Л.Н. Назначение и особенности условий работы водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций / Л.Н. Антонова, Г.И. Канюк, Т.Е. Погонина, Д.М. Михайский [и др.] // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 2, № 10(56). – С. 56–63.
4. Омельченко М.П. Вопросы рациональных компоновочных решений гидротехнических сооружений на водоемах-охладителях ТЭС и АЭС / М.П. Омельченко, Л.Н. Антонова [и др.]. – Харьков: ХУПС, 2009. – 239 с.
5. Расчеты гидротермических показателей Ташлыкского водоема-охладителя методами трехмерного моделирования для обоснования решений, разрабатываемых в рамках ТЭР по улучшению охлаждающей способности ТВО с учетом расширения Южно-Украинского энергокомплекса. Отчет по договору № 3-Ю/08 от 28.01.2009. – К.: УЦЭВП, 2009. – 202 с.
6. Модельные исследования напряженно-деформированного состояния полотна завесы и динамических нагрузок на якорную систему струмененаправляющего сооружения в акватории Ташлыкского водохранилища-охладителя Южно-Украинской АЭС. Отчет по договору № 2-2014 от 25.06.2014. – К.: ИГМ НАНУ, 2014. – 143 с.
7. Faure T.M. Visualizations of the flow inside an open cavity at medium range Reynolds numbers / T.M. Faure, P. Adrianos, F. Lusseyran, L. Pastur // Exp. Fluids. – 2007. – Vol. 42. – P. 169–184.
8. Воскобойник В.А. Визуализация вихревого течения внутри и вблизи поперечно обтекаемой овальной лунки на плоской поверхности / В.А. Воскобойник, А.А. Воскобойник, А.В. Воскобойник // Промышленная теплотехника. – 2014. – Т. 36, № 3. – С. 13–21.

*Стаття надійшла до редакції 24.02.2015*

УДК 628.16.08

**М.В. КРАВЧЕНКО**

## **НЕДОЛІКИ ЗАСТОСУВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ЗВОРотноОСМОТИЧНИХ УСТАНОВОК НА ПРИКЛАДІ ДООЧИЩЕННЯ ВОДОПРОВІДНОЇ ВОДИ В ГОТЕЛІ МІСТА КИЄВА**

***Анотація.** Розглянуто наслідки використання зворотноосмотичних установок при доочистці питної води на прикладі водопровідної води в готелі міста Києва, яка пройшла очистку на установці з мембранним елементом Filmtec XLE 440 (8") виробництва компанії DOW Chemical (США). Наведені результати зміни кількісного і якісного складу води, а саме її фундаментальних компонентів, в результаті доочистки зворотним осмосом. Обґрунтовано технологічні та економічні недоліки зворотноосмотичних установок.*

***Ключові слова:** очистка води, зворотний осмос, мембранний елемент.*

Згідно з ДБН В.2.5-64:2012 [1], який введено в дію на території України з 1 березня 2013 року, показники безпечності та якості холодного та гарячого водопостачання повинні відповідати вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 [2].

У залежності від аналізу питної води з мережі водопостачання на ввіді водопроводу в будинок, будівлю або споруду при новому будівництві, реконструкції, реставрації, технічному переоснащенні та капітальному ремонті багатопверхових житлових будинків, навчальних закладів та закладів охорони здоров'я, підприємств харчової промисловості і громадського харчування, готелів категорій \*\*\*, \*\* та \* можуть бути встановлені індивідуальні (колективні) установки (пристрої) доочищення питної води з метою поліпшення її якості.

У готелях категорій \*\*\*\* і \*\*\*\*\* застосування даних установок обов'язкове (п. 6.1).

В пункті 7.3 даного документу вказано, що в будівлях чи спорудах (як наприклад, готель категорії \*\*\*\*) повинна бути передбачена система додаткового очищення води, яка доводить мінеральний склад питної води до норм згідно з оптимальним вмістом мінеральних речовин для фізіологічних потреб організму людини, наведених в п.3.2 та додатку 4 ДСанПіН 2.2.4-171-10 [2].

Сьогодні досить популярним методом доочистки питної води визнаний зворотний осмос, і ряд крупних компаній, які займаються розробкою і поставками водоочисного обладнання, налагодили випуск як промислових систем зворотного осмосу, так і побутових.

На прикладі водопровідної води в готелі категорії \*\*\*\*, що знаходиться в м. Києві, покажемо, як відбувається процес коригування якісного і кількісного складу води методом зворотного осмосу.

Системи зворотного осмосу, як обладнання для водопідготовки, з моменту свого зародження розроблялися не для систем централізованого або автономного (артезіанська свердловина, колодязь) водопостачання, а для знесолення солоних та солонуватих вод (мінералізація > 1000 мг/дм<sup>3</sup>), очистки стічних вод, підготовки високочистої води для промислових операцій.

Для цих цілей переваги зворотного осмосу (в першу чергу те, що всі процеси здійснюються без зміни агрегатного стану води, що визначає технологічну привабливість і ефективність зворотноосмотичних установок) не мають конкурентів серед класичних методів підготовки води.

Коли ж мова йде про використання побутових зворотноосмотичних установок при підготовці питної води, а точніше коригуванні складу води, яка вже пройшла підготовку на станціях централізованого водопостачання (водопровідна вода з мінералізацією  $< 1000$  мг/дм<sup>3</sup>), тут постає ряд проблем і недоліків при застосуванні зворотного осмосу, які, в першу чергу, пов'язані з впливом на екобезпеку життєдіяльності і здоров'я людини.

Процес зворотного осмосу дозволяє відразу видаляти не лише солі та інші речовини, що знаходяться в іонізованому стані, але також і органічні речовини, колоїди, бактерії, віруси (розмір частинок 0,0001–0,001 мкм; робочий тиск від 0,5 МПа).

Ефективність зворотноосмотичних установок для вирішення широкого кола задач, в тому числі і підготовки питної води, визначається якістю основного їх елемента – мембран, яких на світовому ринку представлений широкий асортимент, що працюють при низькому (до 1,5 МПа), середньому (2,5–3,0 МПа) і високому (понад 3,0 МПа) тиску і мають різні фізико-хімічні та технічні характеристики.

Для зворотноосмотичних установок, що пропонуються сьогодні на комерційному ринку, головними комплектуючими є мембранні елементи (картриджі), основою чого є багат шарові полімерні композитні мембрани виробництва, в основному, США (Filmtec, фірми DOW Chemical), ФРН (фірми Koch Membrane Systems), Кореї (фірми SAEHAN).

Тобто, якість води, що пройшла процес підготовки зворотним осмосом, а також продуктивність зворотноосмотичної установки визначають безпосередньо такі фізико-хімічні властивості мембрани, як структура, розміри її пор, селективність, проникність.

В таблиці 1 наведені результати аналізу вихідної водопровідної води в готелі м. Києва, виконані санітарно-епідеміологічною станцією міста Києва та екологічною лабораторією в місті Монтана (США) (Montana Environmental Laboratory).

Результати аналізу порівняні з діючими в світі нормативами на питну воду, зокрема України [2], США [3], нормативами МОЗ України [4], нормативами Ради Європейського Союзу [5], а також з показниками фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води (Україна) [2].

Як показало порівняння досліджуваної води з нормативними значеннями, якість водопровідної води в готелі м. Києва відповідає нормативним значенням, зокрема ДСанПіН 2.2.4-171-10, що діє сьогодні на території України.

Так як досліджуваний готель має категорію 4-зіркового, то згідно з вимогами ДБН В.2.5-64:2012 [1] в ньому повинна бути передбачена обов'язкова установка доочистки водопровідної води, в якості якої керівництвом готелю була обрана і запропонована зворотноосмотична установка з продуктивністю 2,0–3,0 м<sup>3</sup>/год та мембранним елементом Filmtec XLE 440 (8") виробництва компанії DOW Chemical (США).

Зворотний осмос в процесі демінералізації розділяє водопровідну воду на два потоки: демінералізовану воду (пермеат), яка поступає

в бак-накопичувач, та воду з підвищеним солевмістом (концентрат), яка скидається в каналізацію.

Важливою характеристикою даної установки є ступінь очистки води до 99,8%, тобто на виході з установки вода за своїм якісним і кількісним складом відповідає дистильованій воді.

Підтвердимо це експериментально на прикладі дослідження зміни концентрації фундаментальних компонентів водопровідної води, що пройшла очистку через зворотноосмотичну установку.

Таблиця 1. Порівняння концентрації показників водопровідної води (готель в м. Києві) зі значеннями інших світових нормативних документів

Показники якості води	Одиниця вимірювання	Досліджувана вода (водопровідна вода в готелі м. Києва)		ДСанПіН 2.2.4-171-10 (Україна) [2]	Environmental Protection Agency – EPA (США) [3]	Нормативи МОЗ на питну воду (Україна) [4]	Директива Ради ЄС 98/83 [5]	Показники фізіологічної повноцінності мінерал. складу питної води (Україна) [2]
		Виконавець – міська СЕС, від 14.11.013 р.	Виконавець – Монтана Environmental Laboratory 290,09 LLC, від 17.12.13р.					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Органолептичні показники</i>								
Запах	Бали	2,0	-	2,0	3,0			-
Присмак	Бали	1,0	-	2,0				-
Каламутність	мг/дм <sup>3</sup>	<0,58	-	1,0	0,5-1,0	5,0 (1,0)	4,0	-
Колірність	град	18,0	-	20,0	15,0	15,0		-
<i>Загальні фізико-хімічні показники</i>								
Водневий показник рН		7,75	7,11	6,5-8,5	6,5	6,5-8,5	6,5-8,5	-
Загальна мінералізація (сухий залишок)	мг/дм <sup>3</sup>	290,0	348,0	1000 (1500)	500	1000	1500	200-500
Загальна жорсткість	мг-екв/дм <sup>3</sup>	4,8	-	7,0 (10,0)	-	-	1,2	1,5-7,0
Сульфати	мг/дм <sup>3</sup>	18,47	34,1	250 (500)	250	250	250	-
Хлориди	мг/дм <sup>3</sup>	20,0	24,9	250 (350)	250	250	250	-
Окислюваність перманганатна	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	5,04	-	5,0	-	-	5,0	-
Лужність загальна	мг/дм <sup>3</sup> (мг-екв/дм <sup>3</sup> )	4,0	-	-	0	-	30,0	0,5-6,5
<i>Неорганічні речовини (пріоритетні)</i>								
Алюміній <sup>4+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0,094	0,32	0,2 (0,5)	0,2	0,2	0,2	-
Барій	мг/дм <sup>3</sup>	-	н/в	-	2,0	0,7	0,1	-

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Берилій	мг/дм <sup>3</sup>	-	н/в	0,0002	0,004	-	-	-
Залізо	мг/дм <sup>3</sup>	0,109	0,05	0,2 (1,0)	0,3	0,3	0,2	-
Кадмій	мг/дм <sup>3</sup>	-	н/в	-	0,005	0,003	0,005	-
Калій	мг/дм <sup>3</sup>	-	4,0	-	-	-	12,0	2-20
Кальцій	мг/дм <sup>3</sup>	74,15	84,0	-	-	-	100,0	25- 75
Магній	мг/дм <sup>3</sup>	13,38	10,0	-	-	-	50,0	10- 50
Марганець	мг/дм <sup>3</sup>	<0,01	0,021	0,05 (0,5)	0,05	0,5 (1,0)	0,05	-
Мідь	мг/дм <sup>3</sup>	<0,001	н/в	1,0	1,0	2,0 (1,0)	2,0	-
Нікель	мг/дм <sup>3</sup>	-	н/в	0,02	-	0,02	0,02	-
Нітрати	мг/дм <sup>3</sup>	11,07	1,6	50,0	44,0	50,0	50,0	-
Нітрити	мг/дм <sup>3</sup>	0,39	н/в	0,5	3,3	3,0	0,5	-
Азот амонійний	мг/дм <sup>3</sup>	0,15	0,32	0,5	-	1,5	0,5	-
Натрій	мг/дм <sup>3</sup>	-	12,7	200,0	-	200,0	200,0	2-20
Селен	мг/дм <sup>3</sup>	-	н/в	0,01	0,05	0,01	0,01	-
Срібло	мг/дм <sup>3</sup>	-	н/в	-	0,1	-	0,01	-
Фториди	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,2	0,7-1,5	2,02- 4,0	1,5	1,5	0,7- 1,2
Хлор зв'язаний	мг/дм <sup>3</sup>	0,94	-	1,2	-	-	-	-
Хром	мг/дм <sup>3</sup>		н/в	0,05	-	0,05	0,05	-
Цинк	мг/дм <sup>3</sup>	0,03	0,01	-	5,0	-	5,0	-
<i>Мікробіологічні показники</i>								
Загальне число бактерій	КУО в 1см <sup>3</sup>	0	-	0	0	0	0	-
Число бактерій групи кишкових паличок	КУО в 1дм <sup>3</sup>	В 100 см <sup>3</sup> н/в	-	0	0	0	0	-
Число термостабільних кишкових паличок	КУО в 100 см <sup>3</sup>	E. coli в 100 см <sup>3</sup> н/в	-	0	-	0	0	-
Число патогенних мікроорганізмів (ентерокок)	КУО в 1дм <sup>3</sup>	В 100 см <sup>3</sup> н/в	-	0	0	0	0	-
Число колифагів	БУО в 1дм <sup>3</sup>	-	-	0	-	-	-	-

Таблиця 2. Зміна фундаментальних показників водопровідної води готелю в м. Києві з часом ( $\tau$ ) після зворотного осмосу на мембрані Filmtec типу XLE 440 (8<sup>''</sup>) при тискові P = 18 атм

Показники якості води	Одиниця вимірювання	Вихідна вода (водопровідна вода м. Києва)	Вода після зворотного осмосу P = 18 атм, мембрана Filmtec (США)	Селективність мембрани $\phi$ , %
Каламутність	мг/дм <sup>3</sup>	0,58	Відс.	100
Колірність	град	18,0	Відс.	100
Водневий показник рН		7,75	6,43	-
Лужність (НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	мг/дм <sup>3</sup> (мг-екв/дм <sup>3</sup> )	244,0 (4,0)	48,8 (0,8)	80,0
Сульфати (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	18,47	13,85	25,0
Хлориди (Сl <sup>-</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	20,0	10,2	50,0
Жорсткість загальна	мг-екв/дм <sup>3</sup>	4,8	0,53	90,0
Магній (Mg <sup>2+</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	13,38	3,3	75,0
Кальцій (Ca <sup>2+</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	74,15	4,0	94,5
Залізо (Fe <sup>3+</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	0,109	0,03	70,0
Нітрати (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	11,07	8,85	20,0
Нітрити (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	0,39	0,29	25,0
Азот амонійний (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	0,15	0,08	46,0
Перманганатна окислюваність (KMnO <sub>4</sub> )	мг/дм <sup>3</sup>	5,04	6,24	-
Натрій (Na <sup>+</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	12,7	0,13	99,0
Калій (K <sup>+</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	4,0	0,04	99,0
Мінералізація загальна	мг/дм <sup>3</sup>	290,0	65,4	77,5

Як видно з представлених у таблиці 2 результатів, значення каламутності і колірності вихідної води змінилися після зворотного осмосу до значення нуля. Як альтернатива зворотному осмосу, такі показники ряду органічних речовин (наприклад, колірність, запах, присмак) ефективно коригуються фільтрами на основі активованого вугілля, що значно поступається зворотному осмосу за економічними критеріями.

Значення водневого показника рН води після зворотного осмосу змінилося зі значення 7,75 до середнього значення 6,3, що характеризує отриману воду як підкислене середовище ( $\text{pH} < 7,0$ ). Це підтверджується також і зниженням загальної лужності води ( $\text{HCO}_3^-$ ) зі значення 4,0 мг-екв/дм<sup>3</sup> до отриманого значення після зворотного осмосу – 0,8 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

Організм балансує рН внутрішніх рідин, підтримуючи значення на певному рівні. Кисотно-лужний баланс організму – це певне співвідношення кислот і лугів в ньому, що сприяє нормальному функціонуванню. Кисотно-лужний баланс залежить від збереження відносно постійних пропорцій між внутрішньоклітинними і міжклітинними водами в тканинах організму. Якщо кисотно-лужна рівновага рідин в організмі не буде підтримуватися постійно, нормальне функціонування і збереження життя людини виявляться неможливими.

Важливими для здоров'я людини є такі фундаментальні показники, як  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$ . Для фізіологічної повноцінності функціонування людського організму концентрація  $\text{Ca}^{2+}$  в питній воді повинна бути в межах значень 25,0–75,0 мг/дм<sup>3</sup>,  $\text{Mg}^{2+}$  – в межах значень 10,0–50,0 мг/дм<sup>3</sup>. Крім того, важливою є підтримка відповідного співвідношення між цими компонентами, що становить як 2:1.

Дивлячись на отримані значення концентрації цих важливих показників після зворотного осмосу, можна зробити важливий висновок, що селективність мембрани по відношенню до  $\text{Ca}^{2+}$  складає 95%, по відношенню до  $\text{Mg}^{2+}$  – 75%. Важливим є також і те, що співвідношення їх вирівнялись як 1:1, що суперечить нормам.

Постійне вживання людиною води з нестачею  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$ , наприклад зі значеннями концентрації, отриманої після зворотного осмосу, негативно впливає на міцність кісток, на роботу м'язів, особливо серцевих, розвиваються гіпертонія, судоми, зростає ризик онкологічних захворювань, хвороб шкіри, мозку, серцево-судинної системи і білокрів'я. Дефіцит магнію у дітей призводить до таких серйозних хвороб, як рахіт, загальмованість, тремор.

Як видно з отриманих результатів, селективність мембрани по відношенню до сульфатів складала 25%. Селективність по залізу – 70%.

Селективність мембрани по відношенню до хлоридів складала 50%. Це означає, що мембрана частково пропускає молекули  $\text{Cl}^-$ , що пояснюється наближено рівними значеннями розмірів молекули води (0,3 нм) і молекули хлору  $\text{Cl}^-$  (0,37 нм) (розміри пор мембрани не більші за розміри молекули води (0,3 нм), що приводить до затримання наближених за розмірами молекул і відсіювання молекул більших розмірів).

Вживання питної води з канцерогенами, що утворюються внаслідок хлорування, яке багато років прийнято як метод дезінфекції питної води (зокрема водопровідної води), підвищує ризик захворювання раком серед тих, хто п'є хлоровану воду, на 93% вище, ніж серед тих, хто п'є воду, в якій хлор відсутній.

Важливим результатом досліджень підготовки питної води методом зворотного осмосу є підтвердження збільшення значення перманганатної окислюваності води на виході, в порівнянні зі значенням води на вході. Це явище є наслідком вимивання органічних речовин з шарів мембрани, що входять в основу її складових (мембрана складається з шарів таких органічних розчинників, як ароматичний поліамід (ПА) та полісульфон (ПС)). До того ж

головним недоліком поліамідів являється їх чутливість до вільного хлору, який викликає руйнування амідної групи. При цьому плівки із таких матеріалів мають досить велику товщину (до 150 мкм), а товсті плівки мембран призводять до різкого зниження швидкості масопереносу, тобто до зниження продуктивності зворотньоосмотичних установок.

Органічні речовини, що обумовлюють підвищене значення перманганатної окислюваності, негативно впливають на печінку, нирки, репродуктивну функцію, а також на центральну нервову та імунну системи людини.

Мембрана має низьку селективність по відношенню до таких одновалентних іонів, як  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , так як розмір молекули азоту складає 0,32 нм, що близько до розміру молекули води.

З отриманих результатів видно, що селективність мембрани відносно таких показників води, як  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , низька і складає 20,0; 25,0 і 46,0%, відповідно.

Потрапляючи до організму людини в значних кількостях, нітрати ( $\text{NO}_3^-$ ) можуть викликати набряк легенів, токсичний нефрит і гепатит. При тривалому вживанні питної води, що містить нітрати, підвищується метгемоглобін, погіршуються функції крові, особливо у дітей. Виявлена пряма залежність між виникненням злоякісних пухлин та інтенсивністю надходження в організм нітратів.

Нітрити ( $\text{NO}_2^-$ ) у організмі людини перетворюються на нітрозосполуки – канцерогени, що сприяють розвитку раку печінки, легенів.

Постійне вживання води з підвищеним вмістом азоту амонійного ( $\text{NH}_4^+$ ) викликає хронічний ацидоз і зміни в тканинах.

Важливими для підтримки відповідного рівня екобезпеки життєдіяльності і здоров'я людини є такі компоненти питної води, як натрій та калій, рекомендоване значення концентрації яких, для фізіологічної повноцінності організму, становить від 2,0 до 20,0 мг/дм<sup>3</sup>. Дуже важливим є дотримання співвідношення між цими компонентами як 1:1, що складає в організмі людини натрієво-калієвий насос, який забезпечує транспортування амінокислот і глюкози через біологічні мембрани клітин. Він необхідний для нормальної роботи нервових закінчень, передачі нервових імпульсів і м'язової діяльності, а також для засвоєння відповідних поживних речовин організмом людини.

Нестача натрію призводить до порушення кислотно-основної рівноваги організму.

Дефіцит калію підвищує ризик виникнення порушень обмінних процесів, призводить до збою ритму скорочення серцевих м'язів.

Селективність зворотньоосмотичних мембран по відношенню до натрію і калію дуже висока і складає порядку 99%. В таблиці 2 наведені результати зміни концентрації цих компонентів після зворотного осмосу на мембрані виробництва США фірми Filmtec, що підтверджують майже повне видалення з питної води важливих для організму людини компонентів  $\text{Na}^+$  і  $\text{K}^+$ .

Отже, зробимо загальні висновки щодо використання зворотньоосмотичних установок для підготовки питної води на прикладі водопровідної води в готелі м. Києва.

1. В процесі доочистки зворотним осмосом водопровідної води з вихідним солемістом близько 300,0 мг/дм<sup>3</sup> питна вода на виході з установки майже повністю демінералізована (до 30–60 мг/дм<sup>3</sup>), причому з води майже повністю вилучаються життєво необхідні компоненти для здоров'я людини, такі



як кальцій, магній, натрій, калій (селективність мембрани по відношенню до цих компонентів складає 95–99%). Тому після зворотноосмотичної установки повинні бути передбачені стадії збагачення питної води корисними мінералами (наприклад, стадія впливу на якість питної води енергетичних полів та мінералів, а також стадія біологічної адаптації води), що складає додаткові економічні та технологічні затрати.

2. Після зворотного осмосу зменшується значення показника рН, а також значення загальної лужності води, що характеризує середовище води як кисле, яке призводить не лише до порушення функціонування організму людини, але й може спричинити корозію металу (наприклад, труби, через які транспортується питна вода).

3. Підтверджено, що в процесі зворотного осмосу з шарів мембрани, які сформовані з органічних полімерів (поліамід, полісульфон), вимиваються органічні речовини, що потрапляють безпосередньо у питну воду, яка використовується для споживання. Тому після зворотноосмотичної установки повинна бути передбачена додаткова стадія для усунення органічних речовин (наприклад, фільтри на основі активованого вугілля або іонообмінні фільтри).

4. Мембрана зворотного осмосу володіє невисокою селективністю до деяких однозарядних іонів, таких як нітрати, нітрити, азот амонійний, а також хлор (що характерний для водопровідної води), які дуже згубно впливають на життєдіяльність і здоров'я людини. Тому необхідні додаткові стадії очистки води, як наприклад для нітратів, нітритів – це фільтри на основі аніонообмінних смол.

5. Вода, що подається на зворотноосмотичну установку повинна відповідати певним вимогам: а) повинна бути вільна від хлору (а водопровідна вода містить хлор ( $Cl_2$ ), так як піддається хлоруванню з метою знезараження). Тому перед зворотноосмотичною установкою необхідні додаткові установки передпідготовки води, як наприклад вугільні адсорбційні фільтри; б) значення перманганатної окислюваності не повинно бути більше  $3,0 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$  (а у водопровідній воді значення окислюваності може досягати до  $5,0 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ ), тому перед подачею води на зворотноосмотичну установку необхідна очистка води на фільтрах для усунення органічних речовин (наприклад іонообмінні фільтри, фільтри на основі активованого вугілля).

6. Зворотний осмос, незважаючи на переваги перед класичними методами водопідготовки, залишається досить не ефективним з технологічної точки зору. В середньому, система зворотного осмосу витрачає 3 літри води, щоб підготувати 1 літр очищеної води (перміат), що є технологічно не вигідним. Крім того, повинна бути передбачена технологія утилізації концентрату установки зворотного осмосу.

7. Внаслідок забруднення поверхні мембрани малорозчиненими солями, зваженими частинками, мікроорганізмами, що призводить до зниження продуктивності зворотноосмотичної установки, виникає необхідність періодичної регенерації мембран (хімічна промивка, лужна промивка, санація мембран), що потребує додаткових економічних та технологічних затрат.

Враховуючи виявлені недоліки зворотного осмосу, можна зробити висновок, що при демінералізації морської, солонуватої води чи підготовки технічної води, методи зворотного осмосу не мають конкурентів в області водопідготовки.

Що стосується доочистки водопровідної води, яка відповідає за своїми показниками нормативним значенням, застосування зворотного осмосу призводить до ряду негативних і вагомих наслідків, які необхідно враховувати як з точки зору екобезпеки життєдіяльності і здоров'я людини, так і з технологічного та економічного боку.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.5-64:2012 «Інженерне обладнання будівель і споруд. Внутрішній водопровід та каналізація. Ч.І. Проектування, Ч.ІІ. Будівництво» (Проект. Остаточна редакція). – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – 2013. – 163 с.
2. ДСанПіН 2.2.4-171-10 (ДСанПіН 2.2.4-400-10). Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: затверджено Наказом Міністерства охорони здоров'я України № 400 від 12.05.2010; введено в дію 16.07.2010. – К., 2010.
3. Secondary Drinking Water Regulation: Guidance for Nuisance Chemicals; National Primary Drinking Water Regulations – EPA's Drinking Water Standards; Appendix A – Regulated contaminants // Ground Water and Drinking Water – EPA 810/K-92-001.
4. Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, бактериологической и радиационной безопасности по международным стандартам: Энциклопед. Справочник, 2012.
5. Директива Ради Європейського Союзу 98/83/ЕС від 03.11.1998 // Вода питна. Нормативні документи. Довідник. – Л: Леонорм, 2001. – Ч. 2. – С. 323.

*Стаття надійшла до редакції 20.01.2015*

## ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ

УДК 502.7:55

**К.О. РАДЛОВСЬКА, О.С. ВОЛОШКІНА**

### **ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ РОГАТИНСЬКОГО І БОГОРОДЧАНСЬКОГО РАЙОНІВ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ**

***Анотація.** У статті розглянуто комплексну геоекологічну оцінку компонентів довкілля, що була виконана шляхом комп'ютерної інтеграції спочатку поелементних еколого-техногеохімічних карт, а потім покомпонентних карт. Керуючись сучасними ГІС-технологіями, створено автоматизовані комп'ютерні багатокомпонентні постійно діючі системи екологічної безпеки досліджуваної території Богородчанського району.*

***Ключові слова:** географічні інформаційні технології, техногенні об'єкти, компоненти довкілля, географічні інформаційні системи.*

Для управління станом довкілля та відповідно екологічною безпекою певної території необхідно чітко знати, як впливає на нього той чи інший техногенний об'єкт, та вміти оцінювати цей вплив, стежити за його змінами, прогнозувати його розвиток, щоб керувати станом довкілля і вчасно запобігати його негативним змінам.

Дана робота стосується результатів досліджень щодо комплексної гео-екологічної оцінки компонентів довкілля, яка виконується шляхом комп'ютерної інтеграції спочатку поелементних еколого-техногеохімічних карт, а потім покомпонентних карт.

Використання сучасних ГІС-технологій дозволяє максимально автоматизувати цей процес і створити комп'ютерні багатокомпонентні постійно діючі системи екологічної безпеки території.

Отже, в структурі довкілля, враховуючи визначення К.М. Ситника, І.І. Дедю, В.М. Петліна, М.А. Голубця та багатьох інших екологів і географів, ми у своїх дослідженнях виділяємо такі компоненти довкілля: геологічне середовище та геоморфосферу, ґрунтовий покрив, гідросферу та атмосферу, рослинний покрив. До компонентів довкілля відносять також тваринний світ, геофізичні поля, демосфену і техносферу.

У роботі проаналізовано дані з управління природними ресурсами, а саме: визначення сучасної екологічної ситуації, оцінку впливів техногенних об'єктів на навколишнє середовище, організацію та виконання моніторингу довкілля та усіх його компонентів (геологічного середовища, геофізичних полів, рельєфу, гідросфери, атмосферного повітря, ґрунтового і рослинного покривів), екологічний аудит територій, моделювання та прогнозування стану довкілля та його змін під впливом природних і техногенних чинників за допомогою використання геоінформаційних систем.

Вирішення цих завдань і процедур вимагає інтегрованого підходу, тобто врахування багатьох одночасно діючих чинників, збирання та актуалізації великої кількості різноманітної інформації за станом компонентів довкілля. Це викликає низку проблем як організаційного, нормативно-методичного та фінансового характеру, так і проблем, пов'язаних з вибором оптимальних методів та технологій представлення, зберігання та оброблення отриманих даних. Інформація про стан довкілля відіграє важливу роль під час прийняття рішень у сферах управління просторово-розподіленими об'єктами техногенного характеру (енергетика, транспорт, видобуток корисних копалин, комунальне господарство, агропромисловий комплекс, лісова промисловість, водне господарство та ін.). Слід також враховувати можливу дію навколишнього природного середовища на техногенні об'єкти народногосподарського комплексу.

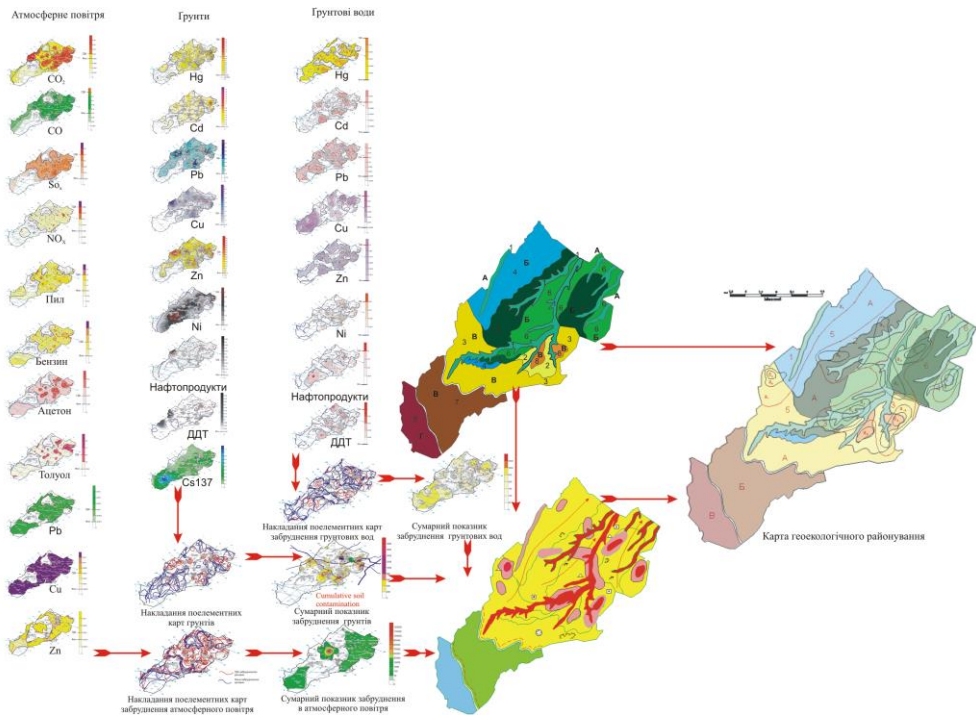


Рис. 1 – Інтеграція поелементних та покомпонентних карт і побудова карти сучасної ситуації на території Богородчанського району

Отже, геоінформаційні системи:

– найбільш об'єктивно оцінюють і враховують зміни стану довкілля, щоб запобігти катастрофічним наслідкам подій природного походження (повені, зсуви, просадки, землетруси і т. ін.);

– дозволяють реалізувати політику управління природоохороною діяльністю у такий спосіб, щоб мінімізувати шкоду навколишньому природному середовищу. Для прийняття дійсно оптимальних управлінських рішень потрібна не просто актуальна інформація, а вона потрібна оперативно і, що головне, у вигляді, зручному для прийняття рішень.

Величезна кількість даних, які накопичені та постійно оновлюються у сфері екологічного моніторингу та ведення баз даних – постійно змінних параметрів про стан довкілля на певній території, – повинна бути максимально упорядкована, систематизована та структурована, щоб забезпечити її обробку та подання результату у вигляді, котрий буде найбільш об'єктивним і зручним для користувача. При цьому повинен бути врахований досвід обробки екологічних даних, накопичений у світі. А світовий досвід свідчить, що найкращим способом представлення, зберігання і оброблення інформації, яка має просторову складову (географічну прив'язку), є геоінформаційні системи.

Важливість впровадження ГІС-технологій у природоохоронну практику підкреслюється в Законі «Про екологічний аудит», Загальнодержавній програмі розвитку водного господарства (Закон України від 17 січня 2002 р. № 2988-III) та в багатьох інших державних та галузевих документах. Геоінформаційні комп'ютерні системи екологічної безпеки (КСЕБ), однією з яких є і розроблена нами для територій Богородчанського району, повинні задовольняти ряд вимог:

1. Забезпечувати комплексність моніторингу стану компонентів довкілля та джерел їх забруднення з уніфікацією параметрів – показників стану довкілля та географічних місць прив'язки відбору проб. Для забезпечення такої вимоги створюється карта фактичного матеріалу на топографічній багатшаровій основі, яка включає горизонталі рельєфу, гідрографічну мережу, дороги, населені пункти, контури лісових масивів, сільськогосподарських угідь та інші необхідні дані.

2. Забезпечувати постійне оновлення (актуалізацію) даних в автоматизованому режимі, що, по-перше, дозволить мати оперативну інформацію, по-друге, вимагатиме мінімуму часу на підтримку системи, по-третє, дозволить постійно перевіряти коректність даних, отриманих іншими дослідниками.

3. Забезпечувати інформаційну підтримку прийняття рішень як за територіально-адміністративним, так і за басейновим або ландшафтним принципами управління станом довкілля. Тобто введення, обробка і виведення інформації здійснюється за критеріями, що відповідають названим принципам. А це забезпечує зручність використання системи для державного управління охороною навколишнього природного середовища у Рогатинському і Богородчанському районах, для басейнових управлінь водними ресурсами і т.д.

4. Забезпечувати можливість експорту інформації в інші українські чи загальноєвропейські системи (XML, MS Excel, MS Word, Map Info та ін.).

5. Для виконання основних функцій та використання ГІС екологічного аудиту, моніторингу довкілля або екологічної безпеки не вимагати придбання ліцензій на професійне геоінформаційне програмне забезпечення, що дозволить легко поширювати систему на необмежену кількість користувачів, які

вводитимуть вхідні дані та використовуватимуть аналітичну інформацію для прийняття рішень. При цьому користувачі повинні бути забезпечені необхідним мінімумом комп'ютерної техніки і відповідних програм (MS Windows XP та MS Office 2007, Surfer, MapInfo та ін.).

У проведених дослідженнях усі дані про реальні фізичні об'єкти (гідромережа, ліси, горизонталі рельєфу та інша інформація з багат шарової топографічної карти) прив'язувались нами до цифрової карти, а всі інші дані (місця відбору проб, геоекологічні полігони, профілі) просторово та інформаційно-логічно прив'язувались до них. Тому ГІС, створені на основі цієї технології, інтегрують у собі всю наявну екологічну інформацію про об'єкти довкілля та антропогенний вплив на них, дозволяють виявляти тенденції та причини змін стану довкілля, способи зниження антропогенного навантаження на довкілля, порушення вимог екологічної безпеки та винуватців цього, виробляти оптимальні рішення з інтегрованого управління природоохороною діяльністю.

## **Висновки**

Відповідно до проведеного аналізу стану досліджуваної території було здійснено комплексну геоекологічну оцінку компонентів довкілля шляхом комп'ютерної інтеграції спочатку поелементних еколого-техногеохімічних карт, а потім покомпонентних карт. Використання сучасних ГІС-технологій дозволяє максимально автоматизувати цей процес і створити комп'ютерні багатокомпонентні постійно діючі системи екологічної безпеки територій.

За допомогою ГІС-технологій були вирішені поставлені завдання з еколого-геохімічної оцінки території Богородчанського району для складання поелементних і покомпонентних карт, карт сучасної екологічної ситуації та геоекологічного районування. Екологічна політика Богородчанського району повинна спрямовуватися на досягнення таких стратегічних цілей:

- зменшення викидів і скидів забруднюючих речовин у навколишнє природне середовище, безпечне поводження з відходами;
- досягнення безпечного для здоров'я людини стану навколишнього природного середовища;
- забезпечення екологічно збалансованого природокористування;
- припинення втрат біотичного та ландшафтного різноманіття, формування екомережі;
- підвищення рівня суспільної екологічної свідомості;
- створення в адміністративних районах інформаційно-аналітичних центрів щодо проблем екологічної безпеки і охорони навколишнього природного середовища та їх вирішення;
- створення системи екологічного навчання та підвищення кваліфікації державних службовців, керівників підприємств і організацій, до компетенції яких належать питання екологічної безпеки та охорони навколишнього природного середовища;
- включення питань формування екологічної культури та екологічної освіти в регіональні та місцеві програми соціально-економічного розвитку.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Адаменко О.М. Конструктивна екологія: Наш майбутній дім – Екоєвропа. Роман життя, науки і кохання в 4-х томах / О.М. Адаменко – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2007. – Том 4. – 2007. – С. 189–282.
2. Вітко Л.Я. Геоінформаційна технологія оцінки геосистем при екологічному аудиті територій нафтогазовидобутку / Л.Я. Вітко // Екологічні проблеми нафтогазового комплексу: наук.-прак. конф. 26–2 березня 2007 р. – Київ: НПЦ « Екологія. Наука. Техніка», 2007. – С. 132–133.
3. Голубець М.А. Екосистемологія / М.А. Голубець. – Львів: Поллі, 2000. – 316 с.
4. Демедюк М.С. Четвертинні відклади / М.С. Демедюк // Природа Івано-Франківської області. – Львів, вид-во Львів. ун-ту, 1973. – С. 25–31.
5. Зорін Д.О. Методика оцінки екологічного стану екосистеми при екологічному аудиті території / Д.О. Зорін // Методи та прилади контролю якості, № 16, 2006. – С. 103–105.
6. Красовський Г.Я. Інформаційні технології космічного моніторингу водних екосистем і прогнозу водоспоживання міст / Г.Я. Красовський, В.А. Петросов. – К.: Наукова думка, 2003. – 224 с.
7. Красовський Г.Я. Інвентаризація водойм регіону з застосуванням космічних знімків і геоінформаційних систем / О.С. Волошкіна, І.Г. Пономаренко, В.А. Слободян // Екологія і ресурси, вип. 11, К.: 2005. – С. 19–41.
8. Красовський Г.Я. Розробка систем картографічного забезпечення для управління екологічною безпекою території області / Г.Я. Красовський, О.М. Трофимчук, Л.В. Зотова: регіональна нарада 13–14 червня 2007 р. – Тернопіль, 2007. – С. 41–49.

*Стаття надійшла до редакції 16.02.2015*

УДК 502.7:55

**Л.Д. ГРЕКОВ, А.В. КУЗЬМИН, Г.Ю. ВЕРЮЖСКИЙ, А.А. ПЕТРОВ,  
В.П. СКАВРОНСКИЙ**

**РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА  
МОНИТОРИНГА АГРАРНЫХ РЕСУРСОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

***Аннотация.** В интересах товаропроизводителей сельхозпродукции и органов государственного управления в сфере сельскохозяйственного производства разработана прикладная **система космического мониторинга аграрных ресурсов** регионального уровня.*

*Система реализует полный технологический цикл обработки данных дистанционного зондирования Земли из космоса, формирование прикладных аграрных сервисов и предоставление доступа к информации конечному потребителю через универсальный web-интерфейс (геопортал). С точки зрения пользователя система является интуитивно простым и наглядным средством визуализации прикладных аграрных сервисов и связанной с ними атрибутивной информации. Предлагаемые тематические сервисы базируются на комплексном использовании спектральных данных со свободно распространяемых снимков TerraModis и Landsat 8, а также Deimos-1 и RapidEye. Обработка данных дистанционного зондирования с целью формирования тематических сервисов базируется на методах статистического, кластерного и факторного анализа, методах распознавания образов, нейронно-сетевых методах анализа.*

***Ключевые слова:** агроресурсы, космический мониторинг, контроль процесса вегетации, Landsat 8, RapidEye, данные полевых исследований, распознавание образов, прогнозирование урожайности.*

**Актуальность внедрения методов космического агромониторинга в Украине**

С начала 90-х годов 20 столетия в Украине произошла кардинальная трансформация структуры сельхозпроизводства. Практически было ликвидировано крупнотоварное колхозно-совхозное производство сельхозпродукции, как альтернатива появились миллионы фермерских хозяйств.

После 2004 года происходит формирование корпоративного сектора производства на базе крупномасштабной концентрации землепользования. Она проявляется как в наращивании площадей арендованных земель, так и в создании быстрыми темпами новых агрохолдингов, вертикально и горизонтально интегрированных структур, в состав которых входят не только аграрные формирования, но и перерабатывающие предприятия, элеваторы, транспортные и торговые организации, научные учреждения и т.п. Земельные массивы таких структур достигают десятков и сотен тысяч гектаров, они монополизуют выгоды от международной торговли.

В 2013 году, по разным оценкам, в Украине функционировали более 100 агрохолдингов, размер их консолидированных земельных банков составил



около 6,5 млн га, или 18% от общей площади сельхозугодий, находящихся в собственности и пользовании сельскохозяйственных предприятий и граждан. По прогнозам, к 2015–2016 годам агрохолдинги планируют увеличить землепользование еще на 2–3 млн га.

В индивидуальном секторе постепенно укрепляются позиции фермерских хозяйств — доля производимой ими продукции сельского хозяйства в общей ее стоимости увеличилась с 1,7% в 2000 году до 5,0% в 2010. Но сейчас индивидуальный сектор представлен в основном хозяйствами населения (свыше 9 млн сельских и городских домохозяйств, имеющих в пользовании земельные участки, в том числе 4,5 млн личных крестьянских хозяйств), которым принадлежит 55% валового производства отрасли.

В результате произошедших трансформаций, в сельскохозяйственном производстве Украины распространено пренебрежение экологическими нормами и требованиями. Корпоративные и индивидуальные хозяйства не соблюдают требования севооборота, масштабной является монокультуризация, ограничено производство животноводческой продукции. Структура сельскохозяйственного производства деформирована в пользу экспортоориентированной растениеводческой продукции. Институциональная среда не побуждает производителей к внедрению правил надлежащей сельскохозяйственной практики сохранения и повышения плодородия почв.

Агрессивное использование сельскохозяйственных угодий, монокультуризация, массовое несоблюдение севооборота и т.п., а также существенное уменьшение объемов природоохранной деятельности создали реальную угрозу ресурсо-экологической безопасности развития аграрного сектора и в целом государства. Ориентация на конъюнктуру внешних агропродовольственных рынков еще больше ее усилит.

Влияние государства в сфере сельскохозяйственного производства должно быть направлено на регулирование деятельности агрохолдингов с целью минимизации их дестабилизирующего влияния на агросферу Украины и предотвращения ее трансформации в сырьевой придаток других стран. В тоже время в Украине должно принципиально измениться отношение к семейному типу хозяйствования, являющемуся основой сельскохозяйственного устройства развитых стран.

В условиях интенсивных трансформационных процессов в сельхозпроизводстве всем участникам производственных отношений в сфере сельхозпроизводства (государству, корпоративному и индивидуальному секторам) необходим действенный мониторинговый механизм анализа состояния аграрных ресурсов на макроуровне: государство, крупный регион; мезоуровне: административный район, агрофирма; на микроуровне: фермерское хозяйство, отдельное поле.

Современные ГИС-технологии, дистанционные методы зондирования земли из космоса и технологии WEB-доступа к информационным ресурсам позволяют обеспечить участников процесса аграрного производства прикладными мониторинговыми сервисами, направленными на повышение эффективности агропроизводства и сохранение земельных ресурсов.

## **Прикладные агросервисы макроуровня**

- Система учета земель сельскохозяйственного назначения.
- Общий анализ использования сельхозземель (выявление заброшенных, не обрабатываемых, нецелевое использование сельхозземель).
- Выявление процессов деградации сельскохозяйственных земель (водная эрозия, ветровая дефляция, засоление, подтопление, опустынивание).
- Оценка посевных площадей основных сельскохозяйственных культур региона.
- Оценка общего состояния посевов в регионе в результате климатических и фитосанитарных факторов.
- Оценка и прогнозирование урожайности для основных сельскохозяйственных культур.
- Контроль за соблюдением севооборотов и сохранением плодородия грунтов.

## **Прикладные агросервисы мезо- и микроуровня**

- Учет и инвентаризация земельных ресурсов, определение площади и контура поля.
- Определение культуры для каждого поля
- Оценка развития посевов на конкретном поле с учетом используемых аграрных технологий в разные периоды его вегетации, выявление стрессовых состояний посевов.
- Сравнительная характеристика и ранжирование состояния посевов отдельной культуры для разных субъектов хозяйствования.
- Количественная и качественная оценка уровня однородности состояния посевов для разных фаз вегетации.
- Оценка и прогноз биологической урожайности для конкретного поля.

## **Информационное обеспечение процесса мониторинга**

Проведение мониторинга сельскохозяйственных ресурсов базируется на двух основных источниках информации: данных спутниковых наблюдений и полевых исследованиях.

*Данные спутниковых наблюдений* используются для анализа значений отражательной способности от различных типов поверхности, в частности, культурной растительности, различных типов почвы или почвы, частично покрытой растительностью в различных спектральных диапазонах. Для анализа агросервисов в системе используются спутниковые данные среднего пространственного разрешения 5–30 м на пиксель и данные низкого разрешения 250–500 м на пиксель. Для анализа состояния растительности наиболее информативными являются спектральные каналы видимого спектра, инфракрасного и ближнего инфракрасного спектра. Для анализа почв дополнительно используются тепловые каналы [1].

Процесс мониторинга аграрных ресурсов осуществляется на протяжении всего вегетационного периода, начиная с посева озимых культур (сентябрь – октябрь предшествующего аграрного года) до уборки яровых культур (конец октября следующего аграрного года).

Начиная с возобновления процесса вегетации озимых культур (последняя декада марта – первая декада апреля) и до полного созревания яровых культур (третья декада августа – первая декада сентября) в системе реализован основной, наиболее детальный мониторинг состояния посевов в основные фазы вегетации. Реализация этого процесса мониторинга осуществляется с использованием 5–6 основных снимков с наиболее высоким доступным разрешением, например 5 м, спектральными каналами видимого спектра (голубой, зеленый, красный) и инфракрасными каналами (ближний инфракрасный, красный край). Наилучшим образом таким условиям удовлетворяют сенсоры группировки спутников RapidEye. Съемка основного процесса мониторинга планируется в начале каждого аграрного года с фиксированными датами с точностью исполнения 5–6 дней.

В интервалах между основными датами съемки в системе мониторинга предусмотрено использование свободно распространяемых космических снимков с пространственным разрешением 30 м со спектральными диапазонами видимого спектра, инфракрасного, коротковолнового и теплового спектра. Периодичность покрытия исследуемой территории снимками этого типа составляет один снимок в две недели, в реальности, с учетом возможной облачности, качественный снимок можно получить раз в месяц. На сегодняшний день данные дистанционного зондирования с такими свойствами система космического мониторинга получает со спутника Landsat 8.

Оперативный мониторинг с минимально возможной пространственной дискретностью получения информации в системе осуществляется с использованием данных низкого пространственного разрешения. С диапазонами красного и ближнего инфракрасного спектра с разрешением 250, голубого и зеленого диапазонов с разрешением 500 м на пиксель. Данные с такими характеристиками имеются в свободном доступе и поставляются сенсорами космического спутника TerraModis. Информация с данного спутника доступна ежедневно, с учетом наличия облачности, реальная периодичность получения данных один раз в 4–5 дней.

**Данные полевых исследований** используются для адекватной интерпретации данных космического мониторинга, проводятся на регулярной основе в даты, согласованные с датами проведения наиболее детального мониторинга, с помощью группировки космических спутников RapidEye. Целью полевых исследований основных сельскохозяйственных культур является измерение агрофизических характеристик посевов: количества растений с единицы площади поля, высоты растений, биомассы сухой и влажной, количества зерен, веса одной тысячи зерен, индекса листовой поверхности (LAI). Дополнительно, с помощью приборов, производится измерение дифференциального вегетационного индекса (*NDVI*) и косвенное измерение количество хлорофилла в зеленой растительности. Проведение полевых исследований предполагает также анализ фитосанитарного состояния посевов и их подверженности климатическим факторам: забурьяненности, наличия вредителей, заболеваний, изреженности, полегания, высыхания, вымокания, вымерзания посевов, наличия водной эрозии. При проведении почвенных исследований на

территории проведения мониторинга эти данные также интегрируются в систему. Все полевые измерения производятся с применением координатной привязки и фотофиксации места взятия пробы или аномалии посева.

В качестве дополнительного источника информации в системе мониторинга используется векторная карта масштаба 1: 50 000, которая содержит набор базовых объектов: границы административных единиц, границы населенных пунктов, автомобильные и железные дороги, объекты гидрографии, лесные массивы и другие объекты. При наличии почвенных данных система мониторинга интегрирует почвенные карты в векторном формате.

### **Структура базы данных системы мониторинга**

Основным объектом анализа системы дистанционного мониторинга является совокупность однородных агрономических полей. Под однородным агрономическим полем в системе мы понимаем область, занятую пашней, ограниченную контуром с естественными устойчивыми границами (дорога, лесополоса, лесной массив, объекты гидрографии и т.д.), которая в текущем аграрном году засеяна одной культурой. Векторный слой контуров агрономических полей создается в системе аграрного мониторинга с использованием доступных актуальных космических снимков с максимально высоким пространственным разрешением путем оцифровки или экспорта в систему из внешних источников, при наличии данных наземной GPS-съёмки. Учитывая, что в Украине процесс реконфигурации полей происходит очень интенсивно, процедура редактирования контуров полей осуществляется каждый аграрный год. Система поддерживает пространственную и временную топологию структуры контуров агрономических полей, т.е. пользователь имеет возможность определить, в состав какого агрономического поля входила любая часть поля в предшествующие годы.

### **Тематический анализ совокупности спутниковых данных и данных полевых исследований**

Тематический анализ совокупности данных космического мониторинга и данных полевых исследований осуществляется с помощью различных прикладных модулей математической обработки, интегрированных в систему космического мониторинга:

*Модуль предварительной обработки* спутниковых данных предусматривает проведение радиометрической и атмосферной коррекции, перепроецирование снимков, изменение пространственного разрешения, использование различных методов фильтрации, построение пирамид, построение композитных изображений. Предварительная обработка космических снимков включает также специальную процедуру автоматического распознавания пикселей снимка, занятых облаками и тенями от облаков, которая использует байесовский алгоритм распознавания образов. Процедура помечает соответствующие пиксели меткой NODATE, и в дальнейшем анализе пиксели, помеченные такой меткой, участия не принимают.

Модуль предварительной обработки реализован в форме набора дополнительных функций системы ARC GIS 10.1. [1].

**Модуль вычисления вегетационных индексов.** Традиционная технология анализа состояния культурной растительности предусматривает вычисление различных вегетационных индексов системы растительность – почва [2]. В частности, в системе дистанционного мониторинга вычисляются и анализируются дифференциальный нормализованный вегетационный индекс (*NDVI*), модифицированный дифференциальный нормализованный вегетационный индекс (*MNDVI*), зеленый нормализованный вегетационный индекс (*GNDVI*), индекс растительности (*VI*).

$$NDVI = \frac{R_{850} - R_{650}}{R_{850} + R_{650}}, \quad MNDVI = \frac{R_{700} - R_{650}}{R_{700} + R_{650}}, \quad GNDVI = \frac{R_{850} - R_{550}}{R_{850} + R_{550}},$$

$$VI = \frac{R_{2200} - R_{1650}}{R_{2200} + R_{1650}},$$

где  $R_{850}$ ,  $R_{650}$ ,  $R_{700}$ ,  $R_{550}$  – спектральные отражательные способности поверхности в ближнем инфракрасном, красном, крайне красном и зеленом диапазонах.

Вычисляются и анализируются нормализованный разностный водный индекс (*NDWI*) и нормализованный разностный снежный индекс (*NDSI*).

$$NDWI = \frac{R_{1650} - R_{850}}{R_{1650} + R_{850}}, \quad NDSI = \frac{R_{480} - R_{850}}{R_{480} + R_{850}},$$

где  $R_{480}$ ,  $R_{1650}$ ,  $R_{2200}$  – спектральные отражательные способности поверхности в голубом и коротковолновых инфракрасных (*SWIR1* и *SWIR2*) диапазонах.

**Модуль статистического анализа и картографирования неоднородностей состояния поля.** Для практического анализа состояния растительности на агрономическом поле представляет интерес характеристика распределения различных, наблюдаемых методами дистанционного зондирования величин, в качестве которых могут быть использованы числовые значения спектральных яркостей или числовые значения любого из перечисленных выше индексов. Числовые значения анализируемой величины интерпретируются модулем как реализация распределения некоторой случайной величины, для которой вычисляются различные параметры распределения, в частности  $A$  – среднее значение параметра,  $S$  – среднеквадратическое отклонение параметра, задается значение  $0 < \alpha \leq 1$ . Найденные значения используются для разбиения распределения на классы, где значение  $A$  используется как нулевая точка оси, а величина  $\alpha \cdot S$  – как единица шкалы. Таким образом, формируются  $2n + 1$  класса, с диапазонами

$$[A - 3S, A - n\alpha S), \dots, [A - 3\alpha S, A - 2\alpha S), [A - 2\alpha S, A - \alpha S), (A - \alpha S, A + \alpha S),$$

$$[A + \alpha S, A + 2\alpha S), [A + 2\alpha S, A + 3\alpha S), \dots, [A + n\alpha S, A + 3S].$$

которые отображаются в некоторой цветовой шкале.

**Модуль факторизации данных дистанционного зондирования.** Пространственно-временной анализ состояния растительности производится с использованием совместного анализа всего множества космических снимков, полученных на протяжении всего процесса вегетации. Для анализа используются все доступные информативные спектральные каналы сенсоров RapidEye – 5 каналов и Landsat 8 – 6 каналов. В результате для каждой точки поля  $(x_i, y_i), i = 1..N$  система мониторинга формирует таблицу  $Z(x_i, y_i), i = 1..N$ , размерность которой определяется количеством используемых снимков и спектральных каналов, размерность вектора к концу вегетационного периода может достигать 50–80 единиц информации. Количество точек  $N$  задается параметром шага регулярной сетки и может варьироваться в диапазоне от 5 до 90 метров. Удобно рассматривать  $Z(x_i, y_i), i = 1..N$  как многомерную случайную величину (*МСВ*). Отдельные компоненты *МСВ*, характеризующие распределение отражательной способности различных спектральных каналов, демонстрируют высокий уровень взаимной корреляции, что делает такое множество данных избыточным и малоприменимым для различных процедур анализа, особенно для проведения классификации и кластеризации посевов [3].

Для устранения избыточности без потери информативности и снижения размерности *МСВ*, необходимо представить все множество значений через описывающие их независимые компоненты. В рассматриваемой системе дистанционного мониторинга такая процедура осуществляется с помощью технологии факторного анализа по методу главных компонент с вращением по методу Варимакс. Как правило, в результате применения процедур удается снизить размерность *МСВ* до 4–10 независимых стандартизированных **главных факторов**, с сохранением не менее 95% пространственной изменчивости.

**Модуль распознавания вида культуры.** Важной и актуальной задачей сельскохозяйственного мониторинга является автоматизированное определение для каждого агрономического поля культуры произрастания из фиксированного множества культур. Для решения этих задач в системе используются различные подходы контролируемой классификации (классификации с учителем).

Для формирования обучающей выборки из всего множества агрономических полей для каждой культуры выбирается 3–8 полей, засеянных данной культурой, с максимальной вариативностью главных факторов. Как правило, для исследуемой территории количество культур, занимающих более 95% посевных площадей, не превышает 10 единиц и включает культуры (пшеница озимая, ячмень озимый, ячмень ярый, кукуруза, подсолнечник, соя, горох, рапс, сахарная свекла, многолетние травы, гречка).

В системе реализованы различные, наиболее эффективные подходы контролируемой поточечной (на сетке с заданным шагом) классификации: метод максимального правдоподобия Байеса в предположении нормального распределения случайной величины и метод ядерного сглаживания в предположении произвольной плотности функции распределения, метод ближайшего соседа, метод деревьев классификации, метод нейронных сетей. Результаты

классификации, полученные различными методами, подвергаются постобработке путем сопоставления между собой, а окончательное решение о принадлежности точки к одному из классов принимается на основании анализа окрестности исследуемой точки.

Процедура определения типа культур распадается на два этапа.

На первом этапе осуществляется выделение полей, засеянных озимыми культурами, среди которых распознаются основные озимые культуры (озимая пшеница, озимый ячмень, озимый рапс).

После посева и всходов яровых культур и на протяжении всего процесса вегетации происходит уточнение распределения посевов на полях яровых культур.

**Модуль прогнозирования урожайности.** Определение биологической урожайности культуры на каждом конкретном поле, а тем самым валовых сборов в некотором регионе, представляет собой наиболее интересную и вместе с тем наиболее трудоемкую процедуру. Очевидно, что применение чисто аналитических подходов для оценки урожайности на отдельном поле или отдельном регионе без проведения полевых испытаний в сочетании с данными дистанционного зондирования не может дать положительный результат и в состоянии лишь моделировать общие закономерности вегетации растений. В то же время на урожайность влияют множество случайных факторов: погодные условия, технологический уровень, свойства грунтов, продуктивные свойства сорта культуры и др. Учесть все многообразие случайных факторов и заложить их в аналитическую модель развития растения практически невозможно, в связи с этим в системе космического мониторинга аграрных ресурсов используется технология пространственной экстраполяции на базе параметрических и не параметрических регрессионных моделей урожайности [4].

Оценка или измерение биологической урожайности на контрольных полях осуществляется в контрольных точках экспертным методом на ранних фазах вегетации по косвенным признакам развития растений. На фазе полной спелости производится оценка урожайности в контрольных точках поля методом измерения количества готовой продукции или, при возможности, используются данные урожайности с комбайнов. Полученные данные урожайности  $Pr(i), i = 1..M$  используются как зависимые переменные регрессионной модели, в качестве независимых переменных используются главные факторы  $f_1(i), f_2(i), \dots, f_n(i), i = 1..M$ , полученные как результат дистанционного зондирования с дальнейшей обработкой методом главных компонент. Выбор контрольных точек замера урожайности в поле осуществляется в точках, которые обеспечивают максимальную вариативность главных факторов.

В качестве параметрических моделей используются модели полиномиального типа не выше третьего порядка, для построения непараметрических моделей применяется нейронно-сетевая технология построения регрессионной модели [5].

Результатом является модель вида  $Pr = F(f_1, f_2, \dots, f_n)$ , которая позволяет вычислить значение урожайности для всего поля значений наблюдаемых главных факторов и оценить среднее значение урожайности на каждом конкретном поле.

Опыт применения такого подхода свидетельствует о его эффективности, отклонение значений оценки биологической урожайности от непосредственно измеренной хозяйственной урожайности не превышает 10%.

## **Геопортал как технология предоставления информационных услуг**

Геопортал является одним из видов интернет-портала, который используется для доступа к геопространственной информации и подключенным атрибутивным данным через Интернет. Геопортал предназначен для быстрого доступа ко всем наборам данных про агропроизводство конкретного сельскохозяйственного предприятия, что позволяет обеспечить управление предприятием, анализируя массивы фактических данных о состоянии различных сфер производства; упростить контроль над технологическими процессами, чтобы обеспечить накопление и сохранение информации; создавать и поддерживать хронологию землепользования и бизнес-процессов в самой удобной форме – «единого окна».

Геопортал имеет функциональные возможности и соответствующий набор инструментов, которые помогают ему выполнять следующие задачи:

- интерактивную навигацию по карте;
- картометрические исследования изображений;
- создание слоев геопространственной информации;
- поиск необходимых объектов из геопространственной базы данных;
- выявление объектов и получение подробной информации из базы данных о выбранном объекте;
- создание запросов к базе геопространственных данных с формированием соответствующих отчетов;
- создание тематических изображений карт на основе пространственной и атрибутивной информации из базы данных;
- аналитическую обработку и моделирование отдельных объектов, процессов и явлений.

Одним из преимуществ этой технологии является то, что пользователь не должен иметь специальные знания в области геоинформационных технологий, компьютеров или географии. Основной целью тематического геопортала является предоставление доступа к тематическим сельскохозяйственным информационным сервисам, созданным на основе спутниковых снимков и другой картографической и статистической информации, поступающей из различных источников. Важной особенностью геопортала является возможность работать со всеми вышеупомянутыми источниками данных независимо от места их физического расположения. Геопортал как интерактивная информационная среда создается с использованием технологии Microsoft Silverlight. Вся информация об агропроизводстве и тематических сельскохозяйственных сервисах хранится в двух базах данных: геоинформационной – в среде ArcGIS Server и реляционной – в среде Microsoft SQL Server.

Технологические решения, реализованные в системе мониторинга, прошли апробацию на протяжении двух аграрных лет на территории Монастырищенского района Черкасской области. Мониторинг проводился для 1600 аграрных полей общей площадью около 65 тыс. га.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений: перевод с английского. М.: Техносфера, 2010. 560 с.
2. Borzuchowski J. Schulz K. Retrieval of Leaf Area Index (LAI) and Soil Water Content (WC) Using Hyperspectral Remote Sensing under Controlled Glass House Conditions for Spring Barley and Sugar Beet, *Remote Sensing* **2010**, 2, pp. 1702–1721.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072.
4. Майорова В.И., Банников А.М., Гришко Д.А. и другие. Контроль состояния сельскохозяйственных полей на основе прогнозирования динамики индекса NDVI по данным космической мультиспектральной и гиперспектральной съемки, Наука и образование (электронный научно-технический журнал МГТУ им. Н.Э. Баумана), с. 200-225, 2013 <http://technomag.bmstu.ru/doc/577991.html>.
5. Hardle W. Applied nonparametric regression, 1990. 349 с.

*Стаття надійшла до редакції 24.11.2014*

УДК 519.852.33

**В.А. ВАСЯНИН, Л.П. УШАКОВА**

## **БАЛАНСИРОВКА МАТРИЦЫ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПОТОКОВ В ЗАДАЧЕ ПЕРЕВОЗКИ МЕЛКОПАРТИОННЫХ ГРУЗОВ**

***Аннотация.** Рассматриваются два способа балансировки матрицы контейнерных потоков при решении задачи перевозки мелкопартионных грузов в контейнерах. Необходимость балансировки возникает из-за неравенства суммы исходящих и входящих потоков контейнеров в узлах транспортной сети. Предложена математическая модель и алгоритм решения задачи развозки порожних контейнеров, которые могут быть использованы для балансировки матрицы контейнерных потоков и последующего решения задачи распределения и маршрутизации потоков груженых и порожних контейнеров. Проведен обзор и анализ современных методов и алгоритмов решения транспортной задачи. Экспериментально показано, что оптимальная балансировка по сравнению с симметричной балансировкой позволяет значительно сократить суммарные затраты на транспортировку и обработку порожних контейнеров (на сетях от 100 до 4000 узлов в 17 и 174 раза соответственно).*

***Ключевые слова:** перевозка мелкопартионных грузов в контейнерах, транспортная сеть, модели и алгоритмы решения транспортной задачи.*

### **Введение**

При перевозке мелкопартионных грузов в жесткой таре (контейнерах) в многопродуктовой транспортной сети возникает задача балансировки матрицы потоков. Под многопродуктовой сетью понимается сеть, в которой каждый узел обменивается не взаимозаменяемыми грузами со всеми остальными узлами. Поскольку не для всех узлов сети выполняется условие баланса — равенства суммы исходящих и входящих контейнеров, актуальной становится задача развозки порожних контейнеров (РПК). Часто на практике балансировка матрицы потоков для каждой корреспондирующей пары узлов осуществляется путем возврата порожних контейнеров в узел с их недостатком, т. е. имеет место симметричная балансировка, при которой учет рабочего парка контейнеров ведется одним из этих узлов. При наличии автоматизированной информационно-аналитической системы (АИАС) [1] управления процессами обработки и перевозки грузов выгоднее вести централизованный учет рабочего парка контейнеров и для балансировки потоков решать задачу оптимизации РПК. При этом появляется возможность значительного снижения приведенных затрат на обработку и перевозку потоков порожних контейнеров и оперативного управления их перераспределением при колебании нагрузок в сети.

**Целью работы** является построение математической модели, выбор методов и алгоритмов для решения задачи оптимизации РПК и экспериментальное сравнение методов симметричной и оптимальной балансировки матрицы потоков на численных примерах.

## 1. Математическая модель задачи развозки порожних контейнеров

Пусть  $G(N,P)$  — неориентированная транспортная сеть с множеством узлов  $N$ ,  $n = |N|$  и множеством дуг  $P$ ,  $p = |P|$ ,  $|\cdot|$  — знак мощности множества. Узлы сети соответствуют пунктам отправления, получения и перегрузки грузеных и порожних контейнеров, а дуги — физическим отрезкам линий связи (например, по железным и автомобильным дорогам, морским путям и пр.), соединяющим два любых узла из множества  $N$  так, что между рассматриваемыми узлами на данном отрезке нет больше ни одного узла из  $N$ .

Потоки грузеных контейнеров заданы матрицей  $A = \|a_{ij}\|_{n \times n}$  среднесуточных значений, статистически рассчитанных для конкретных периодов планирования перевозок (например, в зависимости от сезонных колебаний величины потоков). Потоки  $a_{ij}$  из источников  $i$  в стоки  $j$ ,  $i, j = \overline{1, n}$  должны перевозиться в транспортных средствах с заданной периодичностью. Матрица  $A$  не сбалансирована, поскольку для большинства узлов не выполняется условие

$$\Delta_i = \sum_{j=1}^n (a_{ij} - a_{ji}) = 0, \quad i = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Первый способ балансировки предусматривает построение симметричной матрицы  $A^c = \|a_{ij}^c\|_{n \times n}$ , каждый элемент которой определяется из выражения  $a_{ij}^c = \max\{a_{ij}, a_{ji}\}$ ,  $i, j = \overline{1, n}$ . Такое построение приводит к дополнительным затратам на перевозку и погрузку/выгрузку порожних контейнеров, однако, упрощает организацию их обработки и отправки. Второй способ балансировки заключается в решении транспортной задачи для развозки порожних контейнеров.

Разделим все множество узлов, для которых не выполняется условие (1), на два подмножества  $A$  и  $B$  так, чтобы выполнялось  $\Delta_i < 0$ ,  $i \in A$ ,  $\Delta_i > 0$ ,  $i \in B$  и  $A \cup B \subseteq N$ . Тогда в терминах транспортной задачи множество  $B$  является множеством потребителей порожних контейнеров, а  $A$  — множеством их поставщиков. Образует вектор потребителей  $b_j$ ,  $j = \overline{1, k}$  с объемами потребления  $b_j = \Delta_{\xi}$ , для  $\forall \xi \in B$  и вектор поставщиков  $a_i$ ,  $i = \overline{1, l}$ , с объемами предложения  $a_i = |\Delta_{\xi}|$ , для  $\forall \xi \in A$ . Где  $k$  и  $l$  получены счетным перечислением множеств  $B$  и  $A$  соответственно. Векторам  $a_i$  и  $b_j$  поставим во взаимно однозначное соответствие векторы номеров узлов  $\alpha_i$  и  $\beta_j$  из  $A$  и  $B$ . Сформулируем транспортную задачу. Требуется минимизировать

$$\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^k f_{ij}(x_{ij}, d_{ij}), \quad (2)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^k x_{ij} = a_i, \quad i = \overline{1, l}, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^l x_{ij} = b_j, \quad j = \overline{1, k}, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^l a_i = \sum_{j=1}^k b_j, \quad (5)$$

где  $x_{ij} \geq 0$  — число порожних контейнеров, отправляемых  $i$ -м поставщиком  $j$ -му потребителю;  $d_{ij}$  — расстояние перевозки от  $i$  до  $j$ ;  $f_{ij}(\cdot)$  — кусочно-выпуклые нелинейные функции транспортных затрат, зависящие в общем случае от перевозимого объема, расстояния, типа транспортного средства, выделенного для перевозки, маршрута перевозки, скорости движения и других факторов. Учет всех перечисленных факторов при решении задачи (2)–(5) не представляется возможным, поскольку перевозка порожних контейнеров должна выполняться вместе с грузеными. Маршруты перевозки определяются при решении отдельной задачи распределения и маршрутизации потоков [2]. Поэтому предположим, что на этапе балансировки матрицы контейнерных потоков транспортные затраты на перевозку порожних контейнеров пропорциональны объему и расстоянию. Такое допущение позволяет не учитывать нелинейность функций  $f_{ij}(\cdot)$  и интерпретировать (2)–(5) как задачу минимизации «пробега» порожних контейнеров, подставив вместо  $f_{ij}(\cdot)$  длины кратчайших путей  $\tilde{D}^* = \left\| \tilde{d}_{ij}^* \right\|_{l \times k}$  из  $i$  в  $j$ . Предполагается, что предварительно на сети  $G$  рассчитаны кратчайшие пути  $D^* = \left\| d_{ij}^* \right\|_{n \times n}$ , а  $\tilde{d}_{ij}^* = d_{\alpha_i \beta_j}^*$ ,  $i = \overline{1, l}$ ,  $j = \overline{1, k}$ . Отметим, что в (2) расстояния  $d_{ij}$  могут отличаться от расстояний по кратчайшим путям  $d_{ij}^*$ .

Задача преобразуется к линейному виду: минимизировать

$$\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^k \tilde{d}_{ij}^* x_{ij} \quad (6)$$

при ограничениях (3)–(5). После решения задачи, балансировка осуществляется следующим образом:  $a_{ij}^o = a_{ij}$ ,  $i, j = \overline{1, n}$ ;  $a_{\alpha_i \beta_j}^o = a_{\alpha_i \beta_j} + x_{ij}$ ,  $i = \overline{1, l}$ ,  $j = \overline{1, k}$ , где  $a_{ij}^o$  — элементы сбалансированной матрицы  $A^o = \left\| a_{ij}^o \right\|_{n \times n}$ .

Пусть имеются операторы  $\varphi^o : X = \|x_{ij}\|_{l \times k} \Rightarrow X^o = \|x_{ij}^o\|_{n \times n}$ , где  $x_{ij}^o = x_{\alpha_i \beta_j}$ ,  $i, j = \overline{1, n}$ ;  $\varphi^c : A = \|a_{ij}\|_{n \times n} \Rightarrow X^c = \|x_{ij}^c\|_{n \times n}$ , где  $x_{ij}^c$  определяются из условия: если  $a_{ij} \geq a_{ji}$ , то  $x_{ji}^c = a_{ij} - a_{ji}$ , иначе  $x_{ij}^c = a_{ji} - a_{ij}$ ,  $i = \overline{1, n-1}$ ,  $j = \overline{i+1, n}$ .

Сравним способы балансировки с точки зрения затрат на перевозку и обработку порожних контейнеров. Поскольку на этапе решения задачи РПК, в силу сделанных допущений, говорить о реальных затратах не приходится, будем сравнивать два способа балансировки, используя следующие выражения для определения транспортных и погрузочно-разгрузочных затрат:

$$Z_{mp}^c = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij}^*(x_{ij}^c, d_{ij}^*), \quad Z_{nozr}^c = f_{конт}^* \left( 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij}^c \right), \quad (7)$$

$$Z_{mp}^o = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij}^*(x_{ij}^o, d_{ij}^*), \quad Z_{nozr}^o = f_{конт}^* \left( 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij}^o \right), \quad (8)$$

где  $Z_{mp}^c$ ,  $Z_{nozr}^c$ ,  $Z_{mp}^o$ ,  $Z_{nozr}^o$  — соответственно транспортные и погрузочно-разгрузочные затраты при симметричной балансировке и балансировке, основанной на оптимизации развозки порожних контейнеров;  $f_{ij}^*(\cdot)$  — некоторые функции транспортных затрат, зависящие от объема и расстояния перевозки;  $f_{конт}^*(\cdot)$  — функция затрат от объема погружаемых и выгружаемых контейнеров. В качестве  $f_{ij}^*(\cdot)$  и  $f_{конт}^*(\cdot)$  могут выступать функции средних годовых приведенных затрат, учитывающие динамику перевозок и зависящие от рабочего парка транспортных средств и контейнеров, необходимых для нормального функционирования сети при колебаниях нагрузок в сети (см. разд. 3).

Величина снижения затрат

$$\Delta Z = \Delta Z_{mp} + \Delta Z_{nozr} = (Z_{mp}^c - Z_{mp}^o) + (Z_{nozr}^c - Z_{nozr}^o) \quad (9)$$

может служить оценкой оптимального плана развозки порожних контейнеров.

## 2. Алгоритм решения задачи развозки порожних контейнеров. Обзор и выбор методов и алгоритмов решения транспортной задачи

При реализации алгоритма решения задачи нет необходимости создавать и хранить матрицы  $X^c$  и  $X^o$ , поэтому формулы (7) и (8) можно записать в виде

$$Z_{mp}^c = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n f_{ij}^*(abs(a_{ij} - a_{ji}), d_{ij}^*), \quad Z_{nozr}^c = f_{кошт}^* \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n abs(a_{ij} - a_{ji}) \right), \quad (10)$$

$$Z_{mp}^o = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^k f_{ij}^*(x_{ij}, \tilde{d}_{ij}^*), \quad Z_{nozr}^o = f_{кошт}^* \left( 2 \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^k x_{ij} \right), \quad (11)$$

где *abs* означает абсолютную величину.

Приведем укрупненный алгоритм решения задачи РПК.

1. На сети G найти матрицу кратчайших путей  $D^* = \|d_{ij}^*\|_{n \times n}$ .
2.  $k \leftarrow 0$ ;  $l \leftarrow 0$ .
3. Для  $\{i \mid i = \overline{1, n}\}$  выполнить пп. 4–11.
4.  $SO \leftarrow 0$ ;  $SI \leftarrow 0$ .
5. Для  $\{j \mid j = \overline{1, n}, j \neq i\}$  выполнить пп. 6–7.
6.  $SO \leftarrow SO + a_{ij}$ ;  $SI \leftarrow SI + a_{ji}$ .
7. Перейти к п. 5. \*\*\* Конец цикла по  $j$
8. Если  $SO > SI$ , то перейти к п. 9, иначе перейти к п. 10.
9.  $k \leftarrow k + 1$ ;  $b_k \leftarrow (SO - SI)$ ;  $\beta_k \leftarrow i$ ; перейти к п. 12.
10. Если  $SO < SI$ , то перейти к п. 11, иначе перейти к п. 12.
11.  $l \leftarrow l + 1$ ;  $a_l \leftarrow (SI - SO)$ ;  $\alpha_l \leftarrow i$ .
12. Перейти к п. 3. \*\*\* Конец цикла по  $i$
13. По формулам (10) определить  $Z_{mp}^c$  и  $Z_{nozr}^c$ .
14. Для  $\{i, j \mid i = \overline{1, l}, j = \overline{1, k}\}$  выполнить пп. 15–16.
15.  $\tilde{d}_{ij}^* \leftarrow d_{\alpha_i \beta_j}^*$ .
16. Перейти к п. 14. \*\*\* Конец циклов по  $j$  и  $i$
17. Решить транспортную задачу (6), (3)–(5).
18. По формулам (11) определить  $Z_{mp}^o$  и  $Z_{nozr}^o$ .
19. Для  $\{i, j \mid i = \overline{1, l}, j = \overline{1, k}, x_{ij} \neq 0\}$  выполнить пп. 20–21.
20.  $a_{\alpha_i \beta_j} \leftarrow a_{\alpha_i \beta_j} + x_{ij}$ .
21. Перейти к п. 19. \*\*\* Конец циклов по  $j$  и  $i$
22. По формуле (9) получить оценку  $\Delta Z$  оптимального плана распределения порожних контейнеров.
23. Конец алгоритма.

Оценивая временную сложность приведенного алгоритма, отметим, что наиболее трудоемкими действиями в нем являются нахождение кратчайших путей и решение транспортной задачи (ТЗ). Для нахождения всех кратчайших путей в сети G например с помощью алгоритма Флойда (Floyd R.W., 1962 г.)

потребуется  $O(n^3)$  времени. Временная сложность решения транспортной задачи зависит от применяемых методов и алгоритмов.

Впервые транспортная задача в строгой математической постановке была сформулирована Хичкоком [3] и исследована Купмансом [4]. Первым точным методом решения классической транспортной задачи был метод потенциалов, предложенный Л.В. Канторовичем и М.К. Гавуриным [5]. С тех пор появилось множество работ, связанных с постановкой и решением транспортных задач. Среди них можно выделить [6, 7], посвященные классификации и детальному рассмотрению существующих методов и алгоритмов решения транспортной задачи.

Большинство методов решения классической транспортной задачи основано на решении двойственной задачи — найти  $\max \left( \sum_{i=1}^l a_i u_i + \sum_{j=1}^k b_j v_j \right)$

при  $u_i + v_j \leq c_{ij}$ ,  $i = \overline{1, l}$ ,  $j = \overline{1, k}$ , где  $u_i$ ,  $v_j$  не ограничены в знаке, а  $c_{ij}$ , — неотрицательные коэффициенты целевой функции прямой задачи: найти

$$\min \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^k c_{ij} x_{ij} \text{ при ограничениях (3)–(5).}$$

В методе потенциалов для решения двойственной задачи по существу используется прямой симплекс метод (Dantzig G.B., 1947 г.) с учетом специфики транспортной задачи, а двойственные переменные (симплекс-множители)  $u_i$ ,  $v_j$  являются потенциалами поставщиков и потребителей.

Начальное допустимое базисное решение определяется методами «северо-западного угла», «минимального элемента», методом Фогеля и т.п. Для этого решения составляется система из  $l + k - 1$  уравнений  $u_i + v_j = c_{ij}$  и определяются начальные значения  $u_i$ ,  $v_j$  и оценки для небазисных переменных

$$\tilde{c}_{ij} = u_i + v_j - c_{ij}.$$

Далее решение итеративно улучшается обычным путем: введением в базис новой переменной из числа небазисных, имеющих наибольшую положительную оценку  $\tilde{c}_{ij}$  (при решении прямой задачи на минимум); выведением из базиса существующей переменной по условиям допустимости в симплекс-методе. Для этого в транспортной таблице для вводимой переменной строится замкнутый цикл из числа допустимых для вывода базисных переменных и выводится одна, имеющая наименьшее значение, которое и присваивается переменной, вводимой в базис. При этом пересчитываются значения всех базисных переменных так, чтобы не нарушались ограничения по  $a_i$  и  $b_j$ . В условиях допустимости в симплекс-методе знаменатель всегда равен единице, т. к. все коэффициенты в ограничениях на ресурсы для транспортной задачи равны нулю или единице. Итеративный процесс заканчивается, когда для всех небазисных переменных выполняются условия оптимальности симплекс-метода (для задачи на минимум, — все значения  $\tilde{c}_{ij}$  должны быть неположительными, если оценки рассчитываются

$$\text{как } \tilde{c}_{ij} = u_i + v_j - c_{ij}.$$

Временная сложность метода потенциалов зависит от эффективности реализации алгоритмов (матричных или сетевых) выполнения его основных шагов: нахождения начального допустимого базисного решения (начального опорного плана); определения переменной вводимой в базис и проверки на оптимальность текущего решения; определения переменной выводимой из базиса и пересчета новых значений базисных переменных. В алгоритмах могут использоваться различные способы представления данных — абстрактные типы данных (АТД): матричные, списочные, очереди с приоритетами, древовидные и др. Так, например, в сетевой реализации алгоритмов текущее базисное решение представляется остовным деревом и используются эффективные структуры данных и процедуры для представления и работы с графами. Наиболее трудоемкой операцией в методе потенциалов является определение оценок  $\tilde{c}_{ij}$ , т.к. сначала надо выполнить  $l + k - 1$  операций для вычисления потенциалов базисных переменных, а затем рассчитать потенциалы и оценки  $\tilde{c}_{ij}$  для  $l \times k - (l + k - 1)$  небазисных переменных. При самом простом подходе для этого понадобится просмотр всех элементов транспортной таблицы (одновременно можно найти максимальный  $\tilde{c}_{ij}$  для переменной, вводимой в базис, или определить оптимальность текущего решения). Трудоемкость шага выведения переменной из базиса зависит от способа представления текущего базисного решения (остовного дерева) в оперативной памяти компьютера и реализации процедур просмотра и пересчета элементов базиса. Эти процедуры могут быть очень эффективно реализованы при использовании современных АТД, поэтому временная сложность выполнения шага для  $l + k$  циклически связанных значений невелика и нуль сравнима по сравнению с операциями расчета  $\tilde{c}_{ij}$ . Число итераций алгоритма для нахождения оптимального решения трудно выразить только через  $l$  и  $k$ , поскольку оно зависит от величины значений  $a_i$  и  $b_j$ , вырожденности базисных решений, применяемых структур данных задачи и процедур работы с ними. Однако ясно, что увеличить скорость работы прямого алгоритма симплекс метода можно за счет сокращения операций расчета  $\tilde{c}_{ij}$  и проверки условия оптимальности текущего решения.

Широкое применение при решении транспортных задач получил венгерский метод [8]. В его основе лежит построение максимальных потоков через транспортную сеть с частично разрешенными коммуникациями и последующее сокращение невязок. Венгерский метод решения использует схему прямо-двойственного алгоритма, в которой допустимое двойственное решение итеративно улучшается за счет решения задачи, двойственной к ограниченной прямой задаче.

Всегда можно получить допустимое решение двойственной задачи:  $u_i = 0, v_j = \min c_{ij}, i = \overline{1, l}, j = \overline{1, k}$ . Пусть пара индексов  $ij \in \Omega$ , если для них выполняется условие  $u_i + v_j = c_{ij}$ . Допустимые пары индексов  $ij \in \{\Omega\}$  соответствуют допустимым столбцам в транспортной таблице для матричной реализации венгерского метода.



Запишем ограниченную прямую задачу, введя искусственные переменные  $x_i \geq 0, i = \overline{1, l+k}$ : найти

$$\min \sum_{i=1}^{l+k} x_i \text{ при } \sum_j x_{ij} + x_i = a_i, i = \overline{1, l}, \sum_i x_{ij} + x_{l+j} = b_j, j = \overline{1, k},$$

причем  $x_{ij} \geq 0$ , если  $ij \in \{\Omega\}$  и  $x_{ij} = 0$ , если  $ij \notin \{\Omega\}$ . Эту задачу без переменных  $x_i$  можно записать как

$$\max \sum_{ij \in \Omega} x_{ij} \text{ при } \sum_j x_{ij} \leq a_i, i = \overline{1, l}, \sum_i x_{ij} \leq b_j, j = \overline{1, k} \text{ при тех же}$$

ограничениях на  $x_{ij}$ .

Полученную задачу можно интерпретировать как задачу нахождения максимального потока в сети по допустимым парам  $ij \in \{\Omega\}$  при оценке минимальной стоимости в ограниченной прямой задаче, равной

$$\Delta = \sum_{i=1}^l a_i + \sum_{j=1}^k b_j - 2 \sum_{ij \in \Omega} x_{ij},$$

и использовать для ее решения эффективные сетевые алгоритмы.

Сетевую постановку транспортной задачи представляют в виде графа  $G(s, t, L, K, P)$  с обобщенным узлом отправления  $s$ , обобщенным узлом потребления  $t$ , множеством  $L, |L| = l$  узлов отправления, множеством  $K, |K| = k$  узлов потребления и множеством ориентированных дуг  $P$ . Узел  $s$  связан с узлами отправления исходящими дугами  $p_{si}$  с пропускными способностями  $w_{si} = a_i, i = \overline{1, l}$ . Узлы потребления связаны с узлом  $t$  входящими дугами  $p_{jt}$  с пропускными способностями  $w_{jt} = b_j, j = \overline{1, k}$ . Узлы отправления и потребления соединены направленными дугами с неограниченными пропускными способностями  $w_{ij} = \infty$  только для пар индексов узлов  $ij \in \{\Omega\}$ .

Очевидно, что сложность решения транспортной задачи прямо-двойственным алгоритмом зависит от числа итераций улучшения значений двойственных переменных при решении ограниченной прямой задачи, которую нужно решать до тех пор, пока величина невязки  $\Delta$  не станет равной нулю и через сеть будет пропущен максимальный поток величины  $\sum_{i=1}^l a_i = \sum_{j=1}^k b_j$ . На каждой итерации необходимо находить максимальный поток, а число итераций опять-таки трудно представить только через  $l$  и  $k$ .

Как известно, транспортная задача является частным случаем задачи о потоке минимальной стоимости, в которой все дуги допустимы и имеют стоимости и пропускные способности. Для любой конкретной задачи о потоке

минимальной стоимости можно построить соответствующую ей транспортную задачу, решения которых будут совпадать. С этой точки зрения сложность решения транспортной задачи можно сопоставить со сложностью решения задачи о потоке минимальной стоимости.

Учитывая практическую важность транспортной задачи, методы и алгоритмы ее решения активно развивались в прошлом столетии и продолжают совершенствоваться в настоящее время. В работах [9–12] были предложены эффективные методы и алгоритмы для решения классической транспортной задачи. В частности, в [9] рассматривается эффективный алгоритм, основанный на поразрядном сокращении невязок, с общей временной сложностью  $O(kl^2m)$ , где  $m = \lceil \log_2 \min(a_{\max}, b_{\max}) \rceil$ ,  $a_{\max} = \max a_i$ ,  $i = \overline{1, l}$ ,  $b_{\max} = \max b_j$ ,  $j = \overline{1, k}$ . Работы [10, 11] посвящены эффективным реализациям метода потенциалов для транспортной задачи в сетевой постановке, в которых экономно организованы процедуры вычисления потенциалов и пересчета базиса. Рекурсивный вариант венгерского метода, использующий технику цепных списков, предложен в работе [12]. Обзор с 1966 по 1978 гг., экспериментальное сравнение и практические советы по применению методов и алгоритмов решения транспортных задач можно найти в зарубежных работах [13–17].

В СССР большинство из указанных алгоритмов прошло экспериментальную апробацию на конкурсе «Транспорт-81», проведенном по инициативе и под руководством Л.В. Канторовича [18]. Как показали экспериментальные исследования, наилучшей оказалась программа, реализующая вариант метода потенциалов, предложенного в [10].

Несмотря на то, что транспортная задача отнесена к классу полиномиально разрешимых, при сравнении различных алгоритмов ее решения в практических случаях приходится полагаться на экспериментальные результаты. Известны патологические случаи, когда для решения транспортной задачи и задачи о потоке минимальной стоимости требуется экспоненциальное число итераций, казалось бы, эффективных алгоритмов [19, 20].

Дальнейшее развитие методов и алгоритмов решения транспортной задачи нашло отражение в работах [21–25]. В [21] на примере транспортной задачи сравнивается быстродействие теоретически полиномиального двойственного сетевого симплекс-алгоритма с прямым сетевым алгоритмом. Приводятся результаты экспериментального сравнения двойственного алгоритма с известными реализациями прямого алгоритма в пакете программ Netflo. Показано, что на сетях до 300 узлов и 10000 дуг алгоритмы сравнимы по быстродействию. При превышении указанных границ прямой алгоритм быстрее двойственного на 30–60%. В работах [22, 23] приводятся эффективные реализации двойственного сетевого симплекс алгоритма и строго полиномиального алгоритма для решения транспортной задачи. Вопросы постоптимального анализа решения транспортной задачи для плавающих цен рассматриваются в работе [24]. Предлагается универсальный алгоритм «Push-and-Pull», который в отличие от прямого и двойственного симплекс метода, метода «падающих камней» (stepping-stone) не требует введения дополнительных и искусственных переменных для получения начального решения

и других операций, связанных с циклическим обновлением базисных решений (не допускает вырожденных решений). Сравняется вычислительная эффективность предложенного алгоритма с алгоритмами в пакете LINDO. Отмечается, что для проведения анализа на чувствительность и постоптимального анализа не могут быть в полной мере использованы существующие пакеты программ NETFLO, NETSOLVE, GENOS, CPLEX, QSB, LINDO.

В работе [25] рассмотрены способы реализации процедур ведущего преобразования в схеме прямого симплекс алгоритма для задач транспортного типа, позволяющие осуществлять перестройку базисного дерева за время линейное от числа вершин сети, существенно сократив при этом число проверок условия оптимальности. Основанием для проведения работ явилось то, что многие полиномиальные алгоритмы не могут составить конкуренцию прямому симплекс алгоритму при решении практических задач. Излагается способ учета дуг, заведомо удовлетворяющих условию оптимальности, основанный на упорядочении изучения базисного дерева. При использовании данного способа из поиска очередного кандидата для ввода в базис исключаются дуги, для которых установлено выполнение условия оптимальности. Предложенные в работе структуры данных и процедуры для них позволяют уменьшить вычислительную сложность всей итерации прямого симплекс-метода, а не только ведущего преобразования как в известных алгоритмах. Приводится техника программной реализации на языке C++ процедур для решения и постоптимизационного анализа транспортных задач соответственно в сетевой и матричной постановках. Отмечается, что предложенный способ дает возможность распараллеливания вычислений при решении многих задач об оптимальном потоке.

В [26] приводятся результаты экспериментальных исследований по решению транспортной задачи прямым симплекс алгоритмом при распараллеливании вычислений на 14 процессорах. Даны расчеты для сетей, содержащих до 3000 узлов поставщиков и потребителей (т. е.  $l = k = 3000$ ). Экспериментально показано, что затраты времени для задач с одинаковым числом поставщиков и потребителей размерностью  $n \times n$  растут пропорционально  $n^a$ , где  $2 \leq a \leq 2,2$ . Кроме того, в этой работе выполнен прекрасный исторический обзор статей, в которых предлагались новые АТД и процедуры для улучшения программной реализации прямого симплекс алгоритма для решения классической транспортной задачи.

Как уже указывалось, венгерский метод решения транспортной задачи связан с задачей нахождения максимального потока в сети, а сама транспортная задача является частным случаем задачи о потоке минимальной стоимости. Обширную библиографию по алгоритмам нахождения максимального потока и их временной сложности можно найти в [27, стр. 793–794]. Самая быстрая реализация алгоритма нахождения максимального потока разработана Гольдбергом и Рао [28], асимптотическая оценка их алгоритма составляет  $O(\min(v^{2/3}, e^{1/2})e \lg(v^2/e + 2) \lg C)$ , где  $v$  и  $e$  — число узлов и дуг сети, а  $C$  — максимальная пропускная способность дуги (для транспортной задачи  $C = \max(a_i, b_j)$ ,  $i = \overline{1, l}$ ,  $j = \overline{1, k}$ ). Обзор развития методов и алгоритмов решения задачи о потоке минимальной стоимости и оценки их временной сложности приведены в работе [29, стр. 339–344, 395–397].

Кроме традиционных методов, для решения транспортной задачи успешно применяются и другие [30–32].

В работе [30] сделана попытка приспособления двойственного метода аффинного преобразования (метода внутренней точки Кармаркара) для решения потоковых задач. Сравняется вычислительная эффективность сетевого симплексного алгоритма с двойственным методом аффинного преобразования на примерах решения задач о потоке минимальной стоимости, транспортной задачи и задачи о назначениях. Показано, что сетевой симплекс алгоритм на сетях большой размерности работает значительно быстрее. Для распараллеливания на кластере лучше второй алгоритм.

В [31] также реализован метод двойственного аффинного преобразования и проводится его сравнение с градиентным методом, сетевым симплекс методом (пакет NETFLO), методами декомпозиции (пакет RELAX). Для задачи о назначениях размерностью 500x500 (37501 дуг) при распараллеливании ее решения на 8 процессорах время работы алгоритма внутренней точки несколько больше, чем у градиентного алгоритма. По времени работы на сетях размерностью до 72000 узлов сетевой симплекс алгоритм и декомпозиционные алгоритмы оказались соизмеримыми, а алгоритм внутренней точки в большинстве случаев отставал от лучших результатов.

В недавно вышедшей книге [32], посвященной задачам дробного программирования и недифференцируемой оптимизации, также рассматриваются различные подходы к решению транспортной задачи, основанные на схемах декомпозиции по ограничениям и переменным с применением субградиентных методов. Отмечается, что их применение целесообразно, когда число потребителей намного больше числа поставщиков, а также, если в транспортную задачу включены дополнительные сложные ограничения.

В настоящее время для решения транспортных задач успешно применяются метаэвристические методы и алгоритмы, — генетические и эволюционные [33–36], имитации отжига [37], роя частиц [38, 39]. Так, например, в работе [35] приводится генетический алгоритм, позволяющий параллельно генерировать множество субоптимальных решений для линейной транспортной задачи. Дана реализация алгоритма на языке C++. Отмечается, что алгоритм может быть легко приспособлен для решения нелинейных задач. В [39] предложен многороевый алгоритм для приближенного решения транспортных задач с нелинейными функциями стоимости произвольного вида. Приведены результаты вычислительных экспериментов по исследованию эффективности решения нелинейных транспортных задач различной сложности в параллельной реализации разработанных алгоритмов.

В заключение обзора приведем несколько последних работ, представляющих интерес для выбора методов решения транспортной задачи [40–44]. В [40] предлагается метод решения задач транспортного типа, в котором последовательно решаются двумерные задачи с одной связывающей переменной. Для двумерных задач задаются коэффициенты целевой функции для связывающей переменной и формулируются одномерные задачи. Их решения могут дать исходный оптимум или определить систему ограничений на переменные. Допустимые решения построенной системы ограничений дают оптимальное решение исходной задачи. Если система ограничений не имеет допустимых решений, решается задача о максимальном потоке, находится множество взаимно удовлетворённых пар, формируется множество обобщённых

производителей и потребителей и путём суммирования строится новая задача с меньшим числом ограничений. После этого процесс последовательного решения двумерных задач повторяется. Алгоритм строит последовательность псевдорешений с монотонным возрастанием функционала. Отмечается, что метод может быть распространен на широкий класс транспортных и распределительных задач.

В работах [41, 42] соответственно изучаются вопросы, связанные с вырождением базисных решений при построении начального опорного плана методом наименьшего элемента и влиянием выбора метода получения начального опорного плана на число итераций прямого симплекс алгоритма для транспортной задачи (его еще называют MODI или stepping stone методом [14]) для получения оптимального решения. Сравняются методы северо-западного угла, выбора минимального элемента и метод Фогеля. Как и ожидалось, лучшими оказались метод наименьшего элемента и метод Фогеля. На больших размерностях метод северо-западного угла намного хуже (приблизительно в 3 раза).

В [43] рассматривается Shortlist Method, который является улучшением прямого симплекс метода и позволяет существенно сократить число просмотрев небазисных переменных, включаемых в базис, и уменьшить объем памяти компьютера для хранения данных. Экспериментальные исследования показали, что предложенный алгоритм позволяет значительно уменьшить время решения транспортной задачи по сравнению с последней версией (state-of-the-art) симплекс алгоритма, реализованного в пакетах CRAN-Package emdist и LP\_Solve. Алгоритм позволяет решать транспортные задачи большой размерности за разумное время (задача с 1000 поставщиками и потребителями решена за 1,2314 с на компьютере Intel Core i7 CPU, 3.20 GHz). Кроме того, в работе приводится новый метод построения начального допустимого решения и экспериментально показано, насколько сокращается время решения задачи при его использовании по сравнению с известными методами северо-западного угла, минимального элемента, Фогеля и др.

В работе [44] обсуждается транспортная задача с нечеткими ограничениями на ресурсы, когда значения  $a_i$ ,  $i = \overline{1, l}$  и  $b_j$ ,  $j = \overline{1, k}$  задаются наборами нечетких треугольных чисел. Возвращаясь к решению задачи развозки порожних контейнеров (6), (35), отметим, что в реальных сетях величина грузопотоков всегда изменяется во времени. Как правило, внешние входящие потоки мелкопартионных грузов не подчиняются какому-либо известному вероятностному закону распределения (биномиальному, пуассоновскому и пр.). Соответственно будут изменяться и грузопотоки в контейнерах, которые заданы матрицей  $A$ . Поэтому для определения, например, среднесуточных потоков между узлами для различных периодов на протяжении года и в зависимости от сезонных колебаний потоков, в АИАС [1] должны использоваться современные методы математического моделирования на основе временных рядов данных, которые позволяют получить высококачественные прогнозы для нелинейных и нестационарных процессов [45]. Нестационарность входящих потоков и других процессов, происходящих в сети, а также возможность с помощью АИАС оперативно управлять перераспределением потоков порожних контейнеров в реальном масштабе времени и послужили отправной точкой для выбора авторами детерминированной постановки

задачи (6), (3–5). При наличии АИАС всегда известны реальные мелкопартионные потоки грузов и величина грузопотоков в контейнерах. Поэтому всегда можно оперативно решить задачу развозки порожних контейнеров точными методами. При этом небольшие колебания величины потоков будут незначительно отражаться на оптимальном распределении потоков порожних контейнеров и «гаситься» резервом грузоподъемности транспортных средств. Однако нужно оперативно следить, чтобы грузопоток груженых и порожних контейнеров не нарушал схемы распределения и маршрутизации потоков, полученной для периодов текущего планирования [2]. В то же время рассмотренная в [44] транспортная задача с нечеткими ограничениями на ресурсы может представлять интерес для случая, когда по каким-либо причинам АИАС временно неработоспособна.

### 3. Вычислительный эксперимент

Решение задачи развозки порожних контейнеров выполнялось на однородных транспортных сетях с числом узлов  $n = 100, 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000$  и степенью узлов  $val = 5$ . Длины дуг сети и элементы матрицы потоков груженых контейнеров  $A = \| a_{ij} \|_{n \times n}$  задавались датчиком равномерно распределенных псевдослучайных целых чисел в пределах от 80 до 300 км и от 1 до 20 контейнеров. Принимались следующие значения параметров: грузоподъемность транспортных средств  $W = 40$  контейнеров; периодичность движения транспортных средств  $T_{nep} = 24$  ч; время стоянки транспортных средств в конечных пунктах следования  $T_{cm} = 22$  ч; средняя скорость движения транспортных средств  $V_{cp} = 70$  км/ч. Для расчета среднегодовых приведенных затрат на транспортировку и обработку порожних контейнеров использовались следующие тождественные (10) и (11) формулы в условных единицах стоимости:

$$Z_{mp}^c = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \frac{abs(a_{ij} - a_{ji})}{W} \left[ \frac{13939,2(t_{cm} + 2d_{ij}^*/V_{cp})}{t_{nep}} + 7200 + 116,8d_{ij}^* \right],$$

$$Z_{nozp}^c = \sqrt{25595 \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n abs(a_{ij} - a_{ji}) \right)^2 + 2629 \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n abs(a_{ij} - a_{ji}) \right)},$$

$$Z_{mp}^o = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^k \frac{x_{ij}}{W} \left[ \frac{13939,2(t_{cm} + 2\tilde{d}_{ij}^*/V_{cp})}{t_{nep}} + 7200 + 116,8\tilde{d}_{ij}^* \right],$$

$$Z_{nozp}^o = \sqrt{25595 \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^k (2x_{ij})^2 + 2629 \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^k 2x_{ij}}.$$

Для нахождения кратчайших путей использовался алгоритм Флойда, а для решения транспортной задачи — венгерский алгоритм в матричной реализации. Из рис. 1 видно, что при  $n \geq 1000$ ,  $l \geq 503$ ,  $k \geq 496$  начинает значительно возрастать время решения обеих задач, особенно у венгерского алгоритма. Сравнение методов балансировки удобнее проводить не по абсолютным значениям затрат  $Z_{mp}^c$ ,  $Z_{mp}^o$ ,  $Z_{nozr}^c$ ,  $Z_{nozr}^o$ , а по снижению суммарных затрат  $Z = (Z_{mp}^c + Z_{nozr}^c) / (Z_{mp}^o + Z_{nozr}^o)$  и снижению количества порожних

контейнеров 
$$U = \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n abs(a_{ij} - a_{ji}) \right) / \left( 2 \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^k x_{ij} \right)$$
. На рис. 2

приведены соответствующие гистограммы.

Программы составлены на языке Digital Visual Fortran и выполнялись под управлением операционной системы Windows Vista на ПЭВМ с процессором Intel Core 2 Duo с тактовой частотой 2,66 ГГц и оперативной памятью 2 Гб.

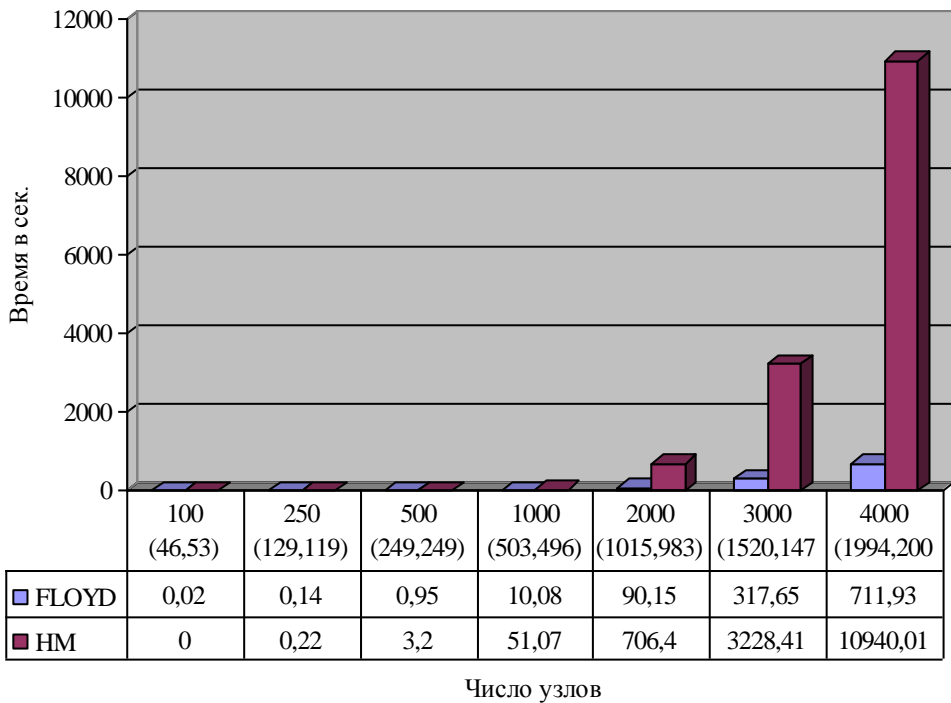


Рис. 1 — Время построения кратчайших путей алгоритмом Флойда (FLOYD) и время решения транспортной задачи венгерским алгоритмом (HM) (в скобках указано соответственно число поставщиков и потребителей)

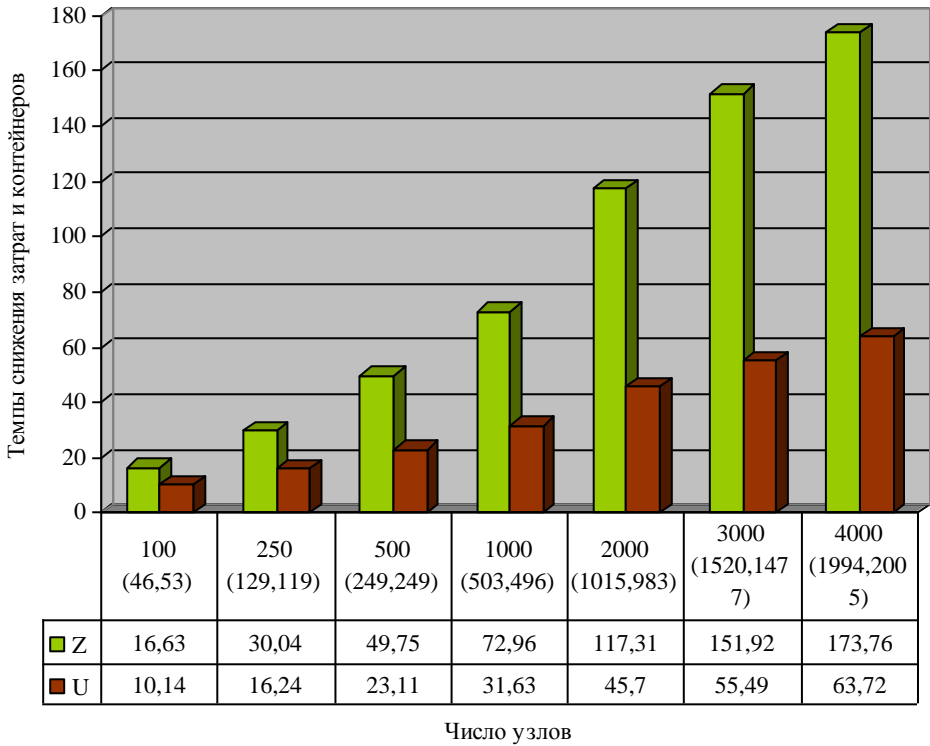


Рис. 2 — Снижение суммарных затрат (Z) и количества порожних контейнеров (U) при применении оптимальной балансировки по сравнению с симметричной (в число раз)

## Выводы

1. Рассмотрены два способа балансировки матрицы контейнерных потоков в транспортной сети — симметричный, часто применяемый на практике, и оптимальный, основанный на решении транспортной задачи. Предложена математическая модель и алгоритм решения задачи развозки порожних контейнеров, которые могут быть использованы для балансировки матрицы контейнерных потоков и последующего решения задачи распределения и маршрутизации потоков грузеных и порожних контейнеров [2].

2. Для решения задачи нахождения кратчайших путей и транспортной задачи при числе узлов в сети, превышающем 1000, необходимо использовать более эффективные алгоритмы. В частности для решения транспортной задачи можно применять современные матричные и сетевые реализации прямого симплекс алгоритма [10, 25, 40, 43], технику распараллеливания вычислений на многоядерных процессорах и вычислительных кластерах [26], приближенные генетические, эволюционные и др. мета-алгоритмы [33–39].

3. Экспериментально показано, что оптимальная балансировка по сравнению с симметричной балансировкой позволяет значительно сократить суммарные затраты на транспортировку и обработку порожних контейнеров (на сетях от 100 до 4000 узлов в 17 и 174 раза соответственно).



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Васянин В.А. Автоматизация процессов принятия решений в многопродуктовых коммуникационных сетях с мелкопартионными дискретными потоками / В.А. Васянин, А.Н. Трофимчук // *Екологічна безпека та природокористування*: Зб. наук. праць. — Київ, 2010. — Вип. 5. — С. 172–213.
2. Васянин В.А. Задача распределения и маршрутизации транспортных блоков со смешанными вложениями и ее декомпозиция / В.А. Васянин // *Проблемы управления и информатики*. — 2015. — № 1. — С. 144–156.
3. Hitchcock F.L. The distribution of a product from several sources to numerous localities / F.L. Hitchcock // *Journal Mathematics and Physics*. — 1941. — Vol. 20. — N 2. — P. 224–230.
4. Koopmans T.C. Optimum Utilization of the transportation system / T.C. Koopmans // *Proceeding of the International Statistical Conferences*. — Washington, 1947. — N 5.
5. Канторович Л.В. Применение математических методов в вопросах анализа грузопотоков / Л.В. Канторович, М.К. Гавурин // *Проблемы повышения эффективности работы транспорта*. — М.: Изд-во АН СССР, 1949. — С. 110–138.
6. Гольдштейн Е.Г. Задачи линейного программирования транспортного типа / Е.Г. Гольдштейн, Д.Б. Юдин. — М.: Наука, 1969. — 374 с.
7. Габасов Р. Методы линейного программирования. Часть 2. Транспортные задачи / Р. Габасов, Р.М. Кириллова. — Минск: Изд. — Белорусск. ун-та, 1978. — 236 с.
8. Kuhn H.W. The Hungarian method for the assignment problem / H.W. Kuhn // *Naval research logistics quarterly*. — 1955. — Vol. 2. — N 1, 2. — P. 83–97.
9. Диниц Е.А. Алгоритм поразрядного сокращения невязок и транспортные задачи // *Исследования по дискретной математике*. — М.: Наука, 1973. — С. 46–57.
10. Ким И.В. Об эффективности алгоритмов решения двухкомпонентных задач линейного программирования // *Экономика и матем. методы*. — М., 1974. — Т. 10, вып. 3. — С. 621–631.
11. Прыгичев А. Н. Эффективная реализация метода потенциалов для транспортной задачи // *Применение математики в экономике*. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. — Вып. 12. — С. 125–131.
12. Грибов А.В. Рекурсивное решение транспортных задач линейного программирования // *Математика, Механика, Астрономия: Вестн. ЛГУ*. — Л., 1978. — Вып. 4. — № 19. — С. 11–19.
13. Barr R.S. An improved version of the Out-of-Kilter method and a comparative study of computer codes / R.S. Barr, F. Glover, D. Klingman // *Math. Prog.* — 1974. — Vol. 7. — N 1. — P. 60–86.
14. Glover F. Implementation and computational comparisons of primal, dual, and primal-dual computer codes for minimum cost network flow problems / F. Glover, D. Karney, D. Klingman // *Networks*. — 1974. — Vol. 4. — N 3. — P. 191–212.
15. Charnes A. Past, present and future of large scale transshipment computer codes and applications / A. Charnes, D. Karney, D. Klingman, J. Stutz, F. Glover // *Comput. & Ops. Res.* — 1975. — Vol. 2. — P. 71–81.
16. Glover F. A practitioner's guide to the state of large scale network and network-related problems / F. Glover, D. Klingman. — *National Computer Conference*, 1976. — P. 945–950.
17. Mulvey J.V. Testing of a large-scale network optimization program / J.V. Mulvey // *Math. Prog.* — 1978. — Vol. 15. — N 3. — P. 291–314.
18. Бушуева С.Ф. Результаты конкурса «Транспорт-81» / С.Ф. Бушуева и др. // *Экономика и матем. методы*. — М., 1983. — Т. 19, вып. 1. — С. 176–181.
19. Zadeh N. More pathological examples for network flow problems / N. Zadeh // *Math. Prog.* — 1973. — Vol. 5. — N 2. — P. 217–224.

20. Zadeh N. A bad network problem for the simplex-method and other minimum cost flow algorithms / N. Zadeh // *Math. Prog.* — 1973. — Vol. 5. — N 3. — P. 255–266.
21. Ikura Y. Computational experience with a polynomial-time dual simplex algorithm for the transportation problem / Y. Ikura, G.L. Nemhauser // *Discrete applied mathematics.* — 1986. — Vol. 13. — P. 239–248.
22. Orlin J.B. Polynomial dual network simplex algorithms / J.B. Orlin, S.A. Plotkin, E. Tardos // *Math. Program.* — 1993. — Vol. 60A. — N 3. — P. 255–276.
23. Kleinschmidt P. A Strongly Polynomial Algorithm for the Transportation Problem / P. Kleinschmidt, H. Schannath // *Mathematical Programming.* — 1995. — Vol. 68. — N 1. — P. 1–13.
24. Adlakha V. Managing cost uncertainties in transportation and assignment problems / V. Adlakha, H. Arsham // *Journal of applied mathematics & decision sciences.* — 1998. — Vol. 2. — N 1. — P. 65–104.
25. Панюков А.В. Техника программной реализации потоковых алгоритмов / А.В. Панюков, В.А. Телегин // *Вестник ЮУрГУ.* — 2008. — № 27(127) . — С. 78–99.
26. Miller D.L. Solution of large dense transportation problems using a parallel primal algorithm / D.L. Miller, J.F. Pekny, G.L. Thompson. — *Management Science Research Report No. 546, 1988.* — 25 p.
27. Кормен Т. Алгоритмы: построение и анализ, 2-е издание / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. — 1296 с.
28. Goldberg A.V. Beyond the Flow Decomposition Barrier / A. V. Goldberg , S. Rao // *Journal of the ACM.* — 1998. — N 45. — P. 783–797.
29. Ahuja R.K. Network flows: theory, algorithms, and applications / R.K. Ahuja, T.L. Magnanti, J.B. Orlin. — Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey, 1993. — 846 p.
30. Armacost A. A computational comparison of the network simplex method with the dual affine scaling method / A. Armacost, S. Mehrotra // *Opsearch.* — 1991. — Vol. 28. — N 1. — P. 18–35.
31. Resende M. An implementation of the dual affine scaling algorithm for minimum cost flow on bipartite incapacitated networks / M. Resende, G. Veiga // *SIAM Journal on Optimization.* — 1992. — P. 1–22.
32. Соломон Д.И. Дробное программирование и недифференцируемая оптимизация. — Кишинев: Эврика, 2010. — 556 с.
33. Michalewicz Z. Genetic algorithms + data structures = evolution programs. — Berlin, Heidelberg: Springer, 1996. — 387 p.
34. Sheng S. Genetic algorithm for the transportation problem with discontinuous piecewise linear cost function / S. Sheng, Z. Dechen, X. Xiaofei // *International Journal of Computer Science and Network Security.* — 2006. — Vol. 6. — N 7A. — P. 182–190.
35. Емельянова Т.С. Об одном генетическом алгоритме решения транспортной задачи / Т.С. Емельянова. — *Известия ТРТУ. Тематический выпуск «Интеллектуальные САПР».* — Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2007. — № 1 (73) . — С. 65–70.
36. Michalewicz Z. Evolutionary computation techniques for nonlinear programming problems / Z. Michalewicz // *International Transactions in Operational Research.* — 1994. — Vol. 1. — N 2. — P. 223–240.
37. Altıparmak F. An adaptive tabu-simulated annealing for concave cost transportation problems / F. Altıparmak, I. Karaoglan // *Journal of the Operational Research Society.* — 2008. — Vol. 59. — N 3. — P. 331–341.
38. Huang H. Particle swarm optimization algorithm for transportation problems / H. Huang, Z Hao // *Particle swarm optimization*, ed. Aleksandar Lazinica, InTech. — 2009. — P. 275–290.

39. Мальковский С.И. Решение нелинейных транспортных задач методом роя частиц / С.И. Мальковский, В.В. Пересветов // Моделирование систем. — 2012. — № 2, (32) С. 54–64.
40. Кузовлёв Д.И. Итеративный алгоритм для класса оптимизационных задач транспортного типа / Д.И. Кузовлев. — Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, Москва, 2013. — 21 с.
41. Loch G.V. Computational Study of Degeneracy in Initial Basic Feasible Solution for the Transportation Problem / G.V. Loch, A.C. Lindbeck da Silva, T.C. Lindbeck da Silva // International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES). — 2014. — Vol. 3. — N 7. — P. 14–19.
42. Loch G.V. A Computational Study on the Number of Iterations to Solve the Transportation Problem / G.V. Loch, A.C. Lindbeck da Silva // Applied Mathematical Sciences. — 2014. — Vol. 8. — N 92. — P. 4579–4583.
43. Gottschlich C. The Shortlist Method for Fast Computation of the Earth Mover's Distance and Finding Optimal Solutions to Transportation Problems / C. Gottschlich, D. Schuhmacher. — PLoS ONE 9(10): e110214. doi:10.1371/journal.pone.0110214. — 2014. — Vol. 9. — N 10. — P. 1–10, [www.plosone.org](http://www.plosone.org).
44. Ивохин Е.В. О подходах к решению транспортной задачи с нечеткими ресурсами / Е.В. Ивохин, А.Б.С. Камл // Проблемы управления и информатики. — 2014. — № 5. — С. 122–133.
45. Довгий С.О., Бідюк П.І., Трофимчук О.М., Савенков О.І. Методи прогнозування в системах підтримки прийняття рішень. — К.: Азимут-Україна, 2011. — 608 с.

*Стаття надійшла до редакції 03.12.2014*

УДК 502.4+911+004.9

О.В. АЛЬОХІНА, І.М. ГОРБАНЬ, Д.В. ІВЧЕНКО

## ОЦІНКА ФРАГМЕНТУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ БІОСФЕРНОГО РЕЗЕРВАТУ «ШАЦЬКИЙ» ЗАСОБАМИ ГІС

***Анотація.** Проведено дослідження фрагментування природоохоронної території біосферного резервату «Шацький». Отримано кількісні характеристики фрагментування та створено картографічні матеріали цієї території з використанням фрагментувальних мереж трьох рівнів, в залежності від можливості їх подолання різними видами тварин та рослин. Окреслено можливі шляхи зменшення фрагментування природоохоронної території біосферного резервату.*

***Ключові слова:** біологічне різноманіття, біосферний резерват «Шацький», фрагментатор, фрагментувальна мережа, природоохоронна територія.*

**Актуальність теми.** У сучасних умовах проблеми фрагментування різного типу ландшафтів є актуальними з точки зору раціонального природокористування та збереження природничих цінностей. Поділ території лінійними об'єктами на дрібні фрагменти, перш за все, впливає на її біологічні компоненти. Наслідками впливу фрагментувальних мереж (ФМ) є поширення інвазійних видів, зменшення площ та якості ареалів, розділення популяцій на більш дрібні та вразливі частини, генетичні мутації та виродження популяцій багатьох місцевих видів біологічного різноманіття.

Важливою проблема фрагментування ландшафтів є і для поліської зони України, а саме Волинського Полісся, особливо враховуючи високий природоохоронний статус територій, які знаходяться в його межах (рис. 1).

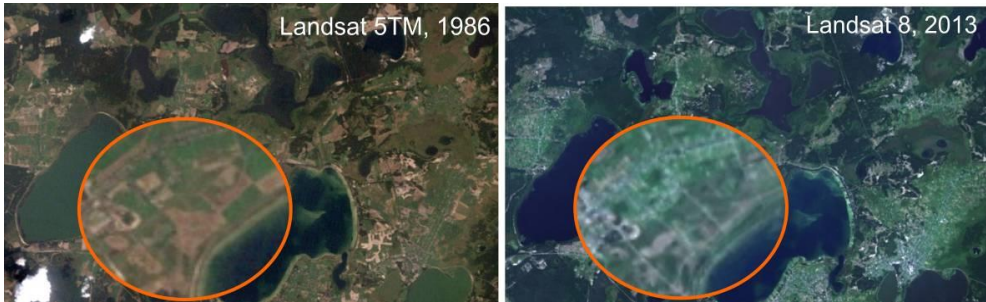


Рис. 1 – Фрагмент ландшафту біосферного резервату «Шацький» за 1986 та 2013 рр.

Так, на космічному знімку із супутника Landsat 5TM станом на 1986 р., шляхом візуального дешифрування, можна розрізнити достатньо великі ділянки сільськогосподарського призначення. Станом на 2013 рік – внаслідок значного фрагментування території – ці ділянки ідентифікації не підлягають. Загальний характер угідь тут дуже помітно змінився.

На сьогодні ґрунтовних досліджень щодо кількісної оцінки впливу фрагментування на біологічне різноманіття в межах Західного Полісся практично немає. В Україні такі дослідження проводились для територій Харківської області [1, 2]. Однак, в європейських країнах вивченню цього питання приділяється значна увага. Кількісна оцінка фрагментування ландшафтів проведена для всіх країн Європи [3–6]. Слід зазначити, що ґрунтовні дослідження проводились в межах адміністративних одиниць цих країн, а досліджень окремих територій, таких як біосферні резервати, заповідники та/або національні парки, не проводилось.

**Виклад основного матеріалу.** Біосферний резерват «Шацький» знаходиться у північно-західному куточку України. З 2012 року він є українською частиною міжнародного трilaterального біосферного резервату «Західне Полісся» (Польща – Білорусь – Україна).

Територія біорезервату є особливо багатою на природні цінності, що зумовлено її ландшафтним різноманіттям. Найбільш цінні біотопи підтримують унікальні умови для збереження особливо рідкісних видів тварин і рослин та формують місцеві центри біологічного різноманіття. Розділення цих біотопів різними об'єктами фрагментації може призвести до негативних наслідків (рис. 2), які погіршують якість природного середовища, зменшують площі придатних для розмноження ареалів.

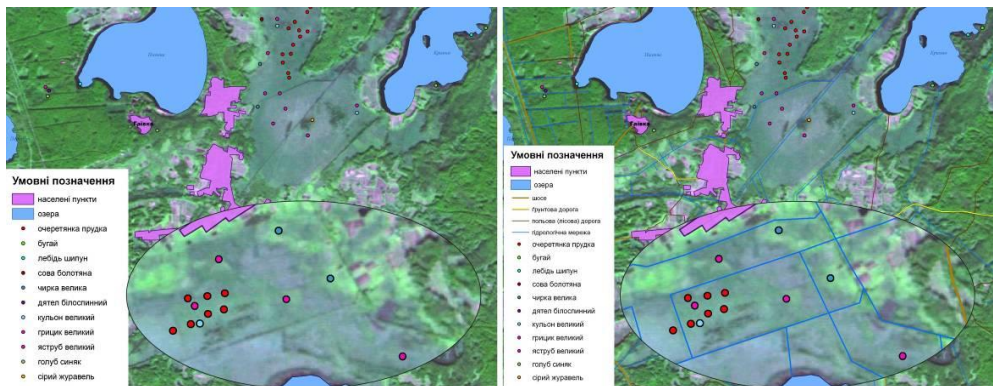


Рис. 2 – Фрагмент території біорезервату «Шацький»: цінні біотопи розділені мережею меліоративних каналів

Для оцінки фрагментування території біорезервату використано європейські методики кількісної оцінки фрагментування ландшафтів [2, 6]. Фрагментувальна інфраструктура, використана в даній роботі, являє собою об'єкти, які в тій чи іншій мірі є перепонами для різних видів біологічного різноманіття: річки різної ширини, дороги різного типу, озера, населені пункти та меліоративні канали різної ширини.

Для формування вхідних даних використана еколого-орієнтована геоінформаційна система (ГІС) біорезервату «Шацький», створена у Фізико-механічному інституті ім. Г.В. Карпенка НАН України. Вона містить всі необхідні дані для розрахунку кількісних характеристик фрагментації, а саме векторні шари об'єктів та їх атрибутивну інформацію.

Формування фрагментувальних мереж різного рівня проводилось з врахуванням того, що для різних видів тварин ступінь подолання різних

природних та антропогенних бар'єрів відрізняється. Фрагментувальна мережа першого рівня (ФМ-1) містить річки шириною понад 10 м, автомобільну дорогу державного значення, населені пункти та озера. Фрагментувальна мережа другого рівня (ФМ-2) містить об'єкти ФМ-1, річки шириною від 2 до 10 м, мережу ґрунтових доріг та меліоративні канали-збирачі. Оскільки меліоративна мережа каналів містить канали різної ширини, то постало питання їх розділення на канали-збирачі та канали-осушувачі з метою їх включення в різні фрагментувальні мережі. Фрагментувальна мережа третього рівня (ФМ-3) містить об'єкти ФМ-2, річки шириною менше 2 м, мережу ґрунтових польових та лісових доріг, пувівці та канали-осушувачі.

Оцінка фрагментування ландшафтів біорезервату «Шацький» передбачає два напрями: робота з картографічними матеріалами у програмному комплексі ArcGis та розрахунок кількісних характеристик фрагментації ландшафту цієї природоохоронної території.

Для отримання окремих фрагментів для кожної з ФМ було виконано наступні операції [2]: трансформування лінійних об'єктів, таких як дороги, річки та меліоративні канали у полігональні за допомогою інструменту Буфер (Buffer); об'єднання полігональних об'єктів у фрагментувальні мережі різного рівня, використовуючи інструмент Об'єднання (Union); вирізання отриманих фрагментувальних мереж з полігону загальної території біорезервату за допомогою інструменту Стирання (Erase); роздроблення складових об'єктів на окремі фрагменти та розрахунок площі та периметру кожного з них. Усі вищенаведені інструменти є складовими набору ArcToolbox програмного комплексу ArcGis.

На основі розрахованих площі і периметру фрагментів кожної з ФМ визначені кількісні характеристики фрагментації [2, 5].

*Показник когерентності (C)* – ймовірність знаходження двох довільно обраних точок в межах одного фрагмента території. Вона вимірюється в частках від цілого або відсотках і розраховується за формулою:

$$C = \sum_{i=1}^n \left( \frac{F_i}{F_g} \right)^2$$

де  $C$  – когерентність,  $F_i$  – площа фрагмента,  $F_g$  – загальна площа території,  $n$  – загальна кількість фрагментів.

*Ефективний розмір комірки (meff – effective mesh size)* – площа, яка буде отримана, якщо всю територію розділити на однакові фрагменти, зберігши при цьому наявну когерентність.

$$meff = F_g \times C$$

*Показник щільності ефективних комірок (SDEN – splitting density)* – число ефективних комірок на одиницю площі, тобто щільність ефективних комірок:

$$SDEN = \frac{1}{(F_g \times C)} = \frac{1}{meff}$$

*Індекс розчленованості (SPLI – splitting index)* – кількість однакових комірок, на яку потрібно розділити територію, щоб зберігся поточний показник когерентності, тобто загальна кількість ефективних комірок на досліджуваній території:

$$SPLI = \frac{1}{C}$$

*Індекс розділення ландшафту (DIVI – degree of landscape division)* – ймовірність того, що дві довільно обрані точки лежать у різних фрагментах території:

$$DIVI = 1 - C$$

Розрахунок усіх вищенаведених показників проводиться через показник когерентності, окрім *індексу порізаності ландшафту (LDI – landscape dissection index)* – єдиного з розглянутих індексів, що реагує на врізання фрагментувальної мережі в ландшафт без повного розсікання. Це досягається шляхом використання в розрахунках периметру фрагментів:

$$LDI = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sqrt[2]{\pi \times F_g \sum_{i=1}^n F_i}}$$

де  $P_i$  – периметр фрагмента.

Отримані кількісні характеристики дозволили провести аналіз фрагментування території біосферного резервату «Шацький».

**Результати та їх обговорення.** Фрагментація ландшафту біорезервату на всіх трьох рівнях фрагментування є нерівномірною (табл. 1). Найбільший фрагмент належить мережі ФМ-1. При цьому кількість фрагментів з розміром комірок більше *meff* становить 3, і вони покривають 0,52% загальної площі біосферного резервату (рис. 3). В даному випадку основними фрагментаторами виступають: *шосе* – головна перешкода для лісових та лучних видів більшості земноводних, багатьох плазунів, які затримуються на шосейному полотні й гинуть під колесами авто, а також лісових хижих жуків, багатьох ссавців, особливо з нічним способом життя, та дрібних птахів, яких часто під час польоту збивають автомобілі; *населені пункти* – значна перешкода для поширення популяцій більшості видів тварин і рослин.

Таблиця 1. Число фрагментів ландшафту біосферного резервату «Шацький»

Фрагментувальна мережа	Найбільший фрагмент, км <sup>2</sup>	Загальна кількість фрагментів, шт.	Кількість фрагментів більше <i>meff</i>	Загальна площа фрагментів більше <i>meff</i> , км <sup>2</sup> /%
ФМ-1	165,93	24	3	394,9/0,52
ФМ-2	80,58	302	5	273,98/0,36
ФМ-3	18,54	1282	58	228,78/0,30



Річки різної ширини в умовах Західного Полісся практично не завдають жодної перешкоди для природних популяцій більшості рослин та тварин, окрім окремих видів гризунів та ящірок. Цей фрагментатор є природною границею для окремих популяцій дрібних ссавців та плазунів. Озера, як і річки, не створюють значних перешкод, а навпаки, концентрують на своїх границях велику кількість видового різноманіття тварин і рослин.

Для фрагментувальної мережі другого рівня розмір найбільшого фрагмента є у два рази менший, ніж для ФМ-1, але загальна кількість фрагментів є у 12 разів більшою. Покриття території фрагментами з розміром комірок більше  $teff$  становить 0,36% (рис. 4). Більшу кількість фрагментів в цьому випадку формують: *мережа ґрунтових доріг* – негативний вплив на популяції дрібних горобинних птахів, яким властива висока територіальність, а щільно розташовані ґрунтові дороги створюють надмірну мережу границь для гніздових популяцій, і цим негативно впливають на міжвидові конкурентні відносини та загальну успішність гніздування; *мережа меліоративних каналів-збирачів* (ширина більше 2 м) – негативно впливає на стан оселищ водно-болотних птахів, багатьох видів рідкісних рослин, популяції дрібних ссавців – комахоїдних і гризунів, популяційні структури жуків.

Найбільшу кількість фрагментів має мережа ФМ-3, при цьому розмір найбільшого фрагмента цієї мережі є найменшим. Загальна кількість фрагментів складає 1282, що у 50 разів більше, ніж у ФМ-1, і у 4 рази більше, ніж у ФМ-2. Фрагментів з розміром комірок більше  $teff$  – 58, а покриття території цими фрагментами становить 0,30 (рис. 5).

### Умовні позначення

Фрагментувальні елементи

-  населені пункти
-  озера
-  шосе
-  річки

Розмір фрагменту, кв. км.

-  0,01 - 10,00
-  10,01 - 20,00
-  20,01 - 40,00
-  40,01 - 60,00
-  60,01 - 80,00
-  більше  $teff$

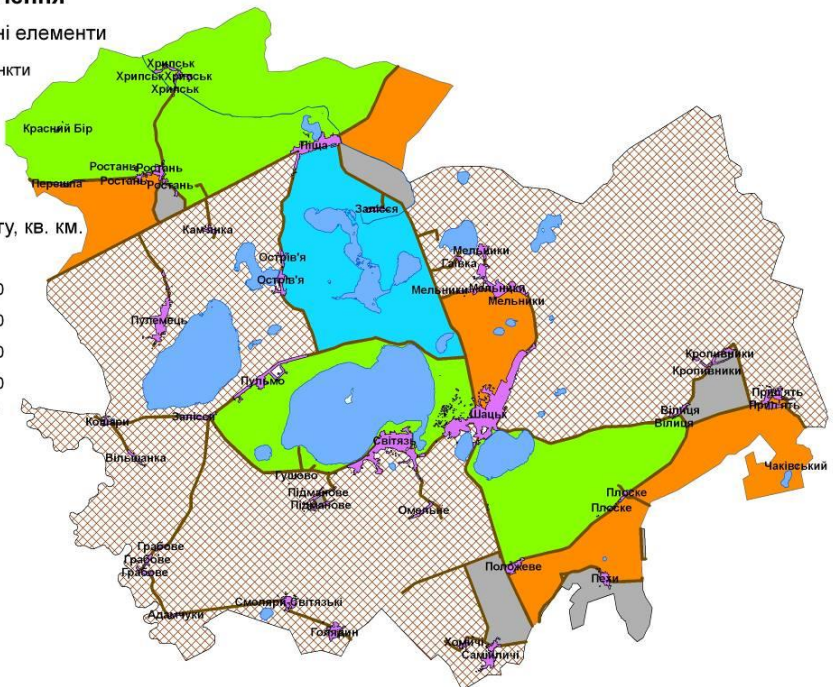


Рис. 3 – Фрагментувальна мережа біорезервату «Шацький» першого рівня



### Умовні позначення

#### Фрагментувальні елементи

- населені пункти
- озера
- шосе
- ґрунтова дорога
- річки
- меліоративні канали - збирачі

#### Розмір фрагменту, кв. км.

- 0,00 - 10,00
- 10,01 - 20,00
- 20,01 - 27,09
- більше meff

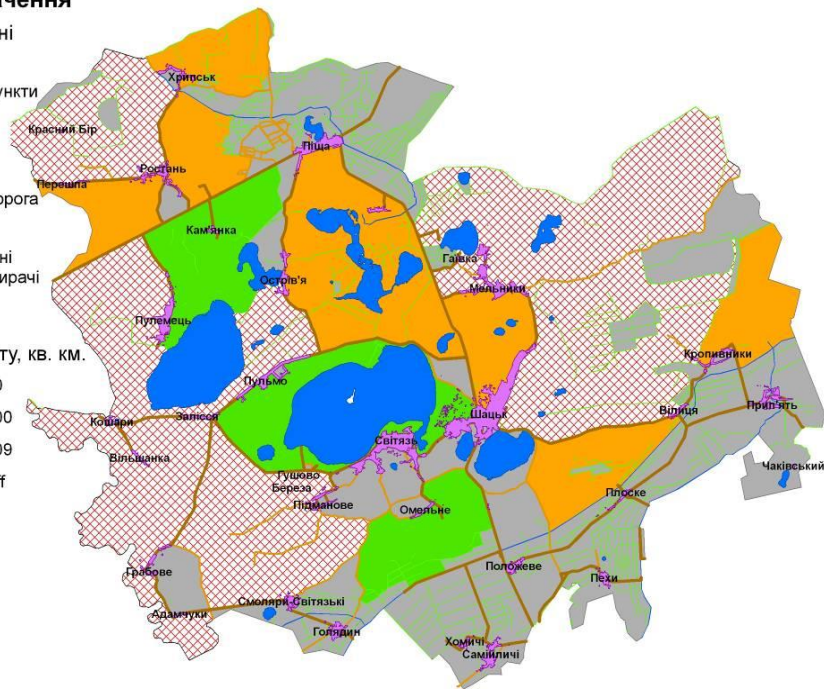


Рис. 4 – Фрагментувальна мережа біорезервату «Шацький» другого рівня

### Умовні позначення

#### Фрагментувальні елементи

- населені пункти
- озера
- шосе
- ґрунтова дорога
- ґрунтова польова та лісова дорога
- путівці
- річки
- меліоративні канали - збирачі
- меліоративні канали-осушувачі

#### Розмір фрагменту, кв. км.

- 0,00 - 2,23
- більше meff

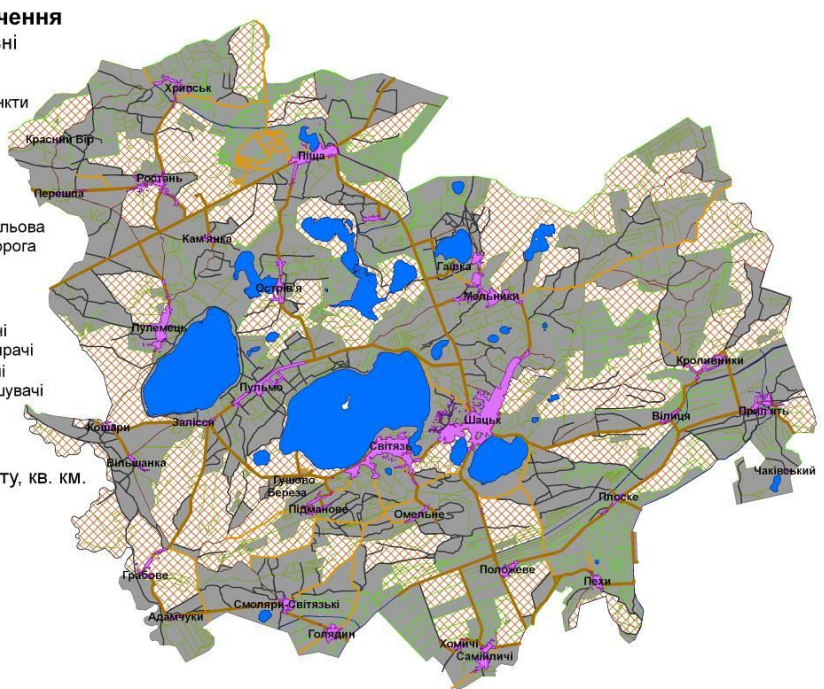


Рис. 5 – Фрагментувальна мережа біорезервату «Шацький» третього рівня

Збільшення кількості фрагментів у ФМ-3 відбувається внаслідок таких фрагментаторів, як: *мережа ґрунтових польових та лісових доріг та мережа меліоративних каналів-осушувачів* (менше 2 м). Меліоративні канали, в загальному, часто є екологічною пасткою для багатьох видів земноводних, де їх успішно виловлюють різні хижаки.

Розраховані кількісні характеристики фрагментування території біорезервату свідчать про те, що ймовірність знаходження двох довільно обраних точок в межах одного фрагмента є найбільшою для ФМ-1 (показник когерентності  $C = 10,50\%$ ), а найменшою для ФМ-3 (показник когерентності  $C = 0,29\%$ ). Відповідно, про найбільшу фрагментацію свідчить індекс розділення ландшафту (DIVI), який вказує на ймовірність знаходження двох довільно обраних точок в межах різних фрагментів. Найбільшою ця ймовірність (DIVI = 99.7%) є для фрагментувальної мережі третього рівня (табл. 2).

Таблиця 2. Показники фрагментування території біорезервату «Шацький»

Фрагментувальна мережа	C, %	Meff, км <sup>2</sup>	SDEN, шт./1000 км <sup>2</sup>	SPLI, шт	DIVI, %	LDI
ФМ-1	10,50	80,43	12,43	9,50	89,50	0,001
ФМ-2	3,54	27,09	36,91	28,20	96,45	0,002
ФМ-3	0,29	2,24	446,42	341,4	99,70	0,004

Індекс порізаності ландшафту (LDI), збільшення якого вказує на неповне розсічення ландшафту фрагментувальною мережею, є достатньо низьким. Але у ФМ-3 цей індекс дещо збільшується, оскільки невеликі канали-осушувачі розсікають територію не до кінця і не забезпечують формування повноцінних фрагментів.

**Висновки.** Результати проведених досліджень свідчать про значний рівень фрагментування території біосферного резервату «Шацький». Природоохоронний статус цієї території та наявність на ній багатой флори і фауни, із значною кількістю видів, що занесені до Червоної книги України та міжнародних природоохоронних списків Бернської і Боннської конвенцій, обумовлюють важливість проведеної роботи.

Європейські країни пропонують велику кількість заходів щодо зменшення фрагментування території. Заходами стратегічного характеру є: збереження та відновлення коридорів для руху диких тварин; європейська стратегія дефрагментації (транспортна інфраструктура, яка не є необхідною, повинна вилучатись, а на заміну повинні створюватись тунелі та мости, й забудовані території не повинні розширювати свої межі); ефективний захист не фрагментованих територій тощо.

Використаний підхід до оцінювання фрагментування території біорезервату «Шацький» дозволив кількісно оцінити ступінь фрагментування і запропонувати заходи щодо його зменшення, а саме:

– зменшення ступеня впливу мережі доріг різного типу може здійснюватись шляхом створення, за необхідності, тунелів та переходів для тварин; демонтажу транспортних шляхів, що не використовуються, і будівництва нових, поблизу поселень; зменшення ширини доріг зі зменшенням

обсягу трафіку; обмеження значної розбудови заселених територій та використання концепції оазису. Концепція оазису – інноваційна ідея, в основі якої покладено звільнення від трансрегіонального трафіку територій придатних для збереження біологічного різноманіття або важливих для рекреації;

– зменшення ступеня впливу мережі меліоративних каналів шляхом консервації каналів (засипання) та/або будівництва екологічних коридорів для тварин, особливо враховуючи той факт, що більшість каналів уже давно не виконують своїх функцій.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Украинский П.А. Изучение фрагментации ландшафтов белгородской части бассейна Ворсклы при помощи ГИС и ДДЗ / П.А. Украинский // Материалы конференции «Экология. Экономика. Информатика» (8–13 сентября 2013 г.). – Т. 2. Геоинформационные науки и экологическое развитие: новые подходы, методы, технологии. Геоинформационные технологии и космический мониторинг. – Ростов-на-Дону: изд-во ЮФУ, 2013. – С. 196–201.
2. Сравнительный анализ фрагментированности ландшафтов белгородской части бассейна Ворсклы и бассейна Мерлы (Харьковская область, Украина) / А.П. Биатов, П.А. Украинский, А.Г. Нарожня // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия Естественные науки. – 2014. – № 3 (174). – Выпуск 26. – С. 157–165.
3. Esswein H., Schwarz von Raumer H.-G. Darstellung und Analyse der Landschaftszerschneidung in Bayern // Endbericht, im Auftrag des Landesamtes für Umweltschutz Bayern. Unveröffentlicht. – 2003 – 43 s.
4. Esswein H., Schwarz von Raumer H.-G. Analyse der Landschaftszerschneidung in Hessen // Endbericht, im Auftrag des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie. Unveröffentlicht. – 2004. – 34 s.
5. Jaeger J., Esswein, H., Raumer H.-G.S., Müller M. Landschaftszerschneidung in Baden-Württemberg: Ergebnisse einer landesweiten räumlich differenzierten quantitativen // Naturschutz und Landschaftsplanung 33 (10), 2001. pp. 305–315.
6. Landscape fragmentation in Europe / J. Jaeger, T. Soukup, L.F. Madrinan et al. // Joint EEA-FOEN report. EEA Report. – 2011. – № 2/2011. – Veröffentlicht von der Europäischen Umweltagentur (EEA) und dem Schweizerischen Bundesamt für Umwelt (FOEN). Luxembourg, Publications Office of the European Union. – 87 s.

*Стаття надійшла до редакції 12.01.2015*

РЕФЕРАТИ / ABSTRACTS

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА  
ENVIRONMENTAL SAFETY**

---

УДК 551.21 (571.645)

**Информационное обеспечение гидроакустического мониторинга озер Западного Полесья** / Трофимчук А.Н., Мокрый В.И., Радчук В.В., Радчук И.В., Загородняя С.А. // Экологическая безопасность и природопользование. – 2015. – № 1(17). – С. 5–14.

В работе приводятся результаты батиметрической съемки озер Свитязь (Шацкое поозерье) и Нобель (Нобельский ландшафт). Созданы векторные электронные карты глубин озер, что дает возможность максимально уточнить морфометрию рельефа, а также расширить информативность анализа и интерпретации морфологического генезиса образования озерных котловин. Обосновано формирование информационной базы системы гидроэкологического мониторинга лимносистем Западного Полесья на основе комплексного использования информационно-аналитических методов и технологий. Предложено использование современной методики преобразования данных эхолотного профилирования в батиметрические схемы для описания озерных котловин.

UDC 551.21 (571.645)

**Information support of hydroacoustic monitoring of the Western Polesie lakes** / Trofymchuk A.N., Mokryi V.I., Radchuk V.V., Radchuk I.V., Zagorodnya S.A. // Environmental security and natural resources. – 2015. – № 1(17). – P. 5–14.

The paper presents the results of bathymetric surveys of lakes Svitiaz (Shatsky Lake District) and Nobel (Nobelsky landscape). Vector electronic maps of the depth of the lakes are created. It allows to specify the maximum relief morphometry and expand the information content of the analysis and interpretation of the genesis of morphological formation of lake basins. The information base of hydro-ecological monitoring of the Western Polesie lakes based on an integrated use of information and analytical methods and technologies are explained. The use of modern methods of the echo-sounder profiling data conversion in the bathymetric scheme to describe the lake basins are proposed.

---

УДК 504,058; 504.3.054

**Потенциальный прирост сейсмичности на территории Украины как фактор увеличения риска жизнедеятельности вследствие аварий на химико-опасных ПОО** / Рогожин А.Г., Яковлев Е.А. // Экологическая безопасность и природопользование. – 2015. – № 1(17). – С. 15–27.

Выполнено региональную оценку совокупного сейсмического риска разрушения химико-опасных потенциально опасных объектов (ПОО) с учетом его прироста, обусловленного влиянием инженерно-геологических условий, а также оценку потенциальных потерь от вероятных аварий на таких ПОО с выбросом токсических веществ.

UDC 504.058; 504.3.054

**Potential increase of seismicity in Ukraine as a factor of growth of personal and social safety risk from accidents on chemically dangerous objects** / Rogozin A.G., Yakovlev E.A. // Environmental safety and natural resources. – 2015. – № 1(17). – P. 15–27.

The regional estimation of combined seismic risk of destruction the chemically dangerous objects (CDO) is carried out taking into account its increase in consequence of engineer-geological conditions. Then the estimation of potential losses from probable accidents with the air burst of poisonous matters on such CDO is executed.

---

УДК 538.69.331.45

**Основы электромагнитного мониторинга города в условиях повышения электромагнитной нагрузки на окружающую среду** / Запорожец А.И., Левченко Л.А. // Экологическая безопасность и природопользование. – 2015. – № 1(17). – С. 28–34.

Предложены концептуальные основы мониторинга электромагнитной обстановки в населенных пунктах с учетом ее динамики и условий формирования, которые являются основанием для разработки системы электромагнитного мониторинга. Это позволит провести инвентаризацию и позиционирование всех источников электромагнитных полей и излучений, определить пространственные распределения напряженности полей и потоков энергии от них.

UDC 538.69.331.45

**Fundamentals of electromagnetic monitoring of the city in the conditions of increasing electromagnetic pressure on the environment** / Zaporozhets A.I., Levchenko L.O. // Environmental safety and natural resources. – 2015. – № 1(17). – P. 28–34.

The conceptual basics of the monitoring of the electromagnetic environment in settlements taking into account the to its dynamics and formation conditions have been proposed, which are the basis for developing of the system of electromagnetic monitoring. This will allow to make an inventory and positioning of all sources of electromagnetic fields and radiation, to determine the spatial distribution of tensions fields and energy flows from them.

---

УДК 504.064.2

**Радиационный контроль миксомицетов лесопарковых территорий Киева** / Кривомаз Т. И. // Экологическая безопасность и природопользование. – 2015. – № 1(17). – С. 35–44.

Данное исследование является вкладом в формирование паспорта экологической безопасности миксомицетов. В результате исследования мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы ионизирующего излучения обнаружена стабильная реакция миксомицетов лесопарковых территорий Киева к воздействию радиации. Это свидетельствует о наличии эффективных защитных механизмов у исследованных видов слизевиков, что позволяет им приспосабливаться к неблагоприятным факторам окружающей среды и является одной из причин их повсеместного распространения. Факторами защиты от разрушительного действия радиации на молекулярном уровне у миксомицетов, как и у грибов, могут служить вторичные метаболиты. Обнаружено, что темноспоровые виды миксомицетов, которые содержат особую форму меланиновых пигментов, проявляют большую устойчивость к воздействию радиации, чем виды с серой, желтой и красной окраской споровой массы. Отдельные виды миксомицетов могут быть использованы для решения практических заданий экологической безопасности.

UDC 504.064.2

**Radiation control of myxomycetes in forest-park territories of Kiev** / Kryvomaz T.I. // Environmental safety and natural resources. – 2015. – № 1(17). – P. 35–44.

This research is input to making of myxomycetes environmental safety passport. The stabile reaction of myxomycetes to radiation influence was finding as result of power ambient equivalent of ionization radiation study in forest-park territories of Kiev. It is evidence that studied myxomycetes have an effective protecting mechanism for adapting to stressful factors of environmental and it is one of the reasons of their wide distribution. The secondary metabolites can be protection factors from radiation destroying influents on molecular level. It was finding that dark-spores myxomycetes, which contain special forms of melanin pigments, demonstrate more resistance to radiation influence, then species with grey, yellow and red color of spores mass. Some species of myxomycetes can be used for managing of practical tasks in environmental safety.

---

## **ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ NATURAL RESOURCES**

---

УДК 628.36

**Сравнительный анализ теоретических расчетов с исследованиями при очистке сточных вод на капельных биофильтрах** / Олейник А.Я., Колпакова О.А. // Экологическая безопасность и природопользование. – 2015. – № 1(17). – С. 45–56.

Приведены результаты сравнительного сопоставления предложенных теоретических расчетов с опытными данными, полученными разными авторами при биологической очистке сточных вод от органических загрязнений на капельных биофильтрах с различной загрузкой. Результаты теоретических расчетов в целом хорошо согласуются с опытными данными.

UDC 628.36

**Comparative analysis of theoretical calculations with experiments in the purification of waste water to trickling biofilters** / Oleynik A.Y., Kolpakova O.A. // Environmental safety and natural resources. – 2015. – № 1(17). – P. 45–56.

The results of comparing the proposed theoretical calculations with experimental data obtained by different authors in biological wastewater treatment of organic waste on trickling biofilters with different loading are presented. The results of theoretical calculations in general good agreement with the experimental data.

---

УДК 626/627 ; 504.05

**Прогнозирование изменений гидролого-морфологических характеристик рек при технико-экономическом обосновании проектов восстановления малых гидроэлектростанций** / Атаев С.В., Стефанишин Д.В. // Экологическая безопасность и природопользование. – 2015. – № 1(17). – С. 57–64.

Рассмотрена проблема прогнозирования изменений гидролого-морфологических характеристик рек на примерах проектов восстановления Чиживской, Бильче-Золотецкой и Велико-Сорочинской малых гидроэлектростанций. Обосновано важность ограничения напора как основного фактора изменений гидролого-морфологических характеристик рек и предложено методы их прогнозирования при технико-экономическом обосновании проектов.

UDC 626/627 ; 504.05

**Predicting changes in hydrological and morphological characteristics of rivers on feasibility study projects of restoration of small hydropower station** / Atayev S.V., Stefanyshyn D.V. // Environmental safety and natural resources. – 2015. – № 1(17). – P. 57–64.

Considered was the problem of predicting changes in hydrological and morphological characteristics of rivers on examples of Chyzhivska, Bilche-Zolotetska and Veliko-Sorochinska small hydropower plants restoration projects. The importance of the water pressure limiting as a key factor of changes in hydrological and morphological characteristics of rivers was grounded and the methods of forecasting these characteristics on feasibility study projects were offered.

---

УДК 532.5

**Физическое моделирование течения вблизи гибкой струенаправляющей завесы** / Воскобойник В.А., Хомицкий В.В., Воскобойник А.А., Воскобойник А.В., Хижа И.А. // Экологическая безопасность и природопользование. – 2015. – № 1(17). – С. 65–73.

Приведены результаты экспериментальных исследований кинематических характеристик течения вблизи полотна гибкой завесы модели струенаправляющего сооружения, спроектированного для акватории Ташлыкского водохранилища-охладителя Южно-Украинской АЭС. Визуальные исследования и измерения полей скорости показали, что вблизи тупиковой части сооружения генерируются крупномасштабная циркуляционная структура и мелкомасштабные водовороты. В области сужения потока формируется интенсивное струйное течение в широком диапазоне чисел Фруда.

UDC 532.5

**Physical simulation of flow near-by the flexible training screen** / Voskoboynick V.A., Khomicky V.V., Voskoboynick A.A., Voskoboynick A.V., Khizha I.V. // Environmental safety and natural resources. – 2015. – № 1(17). – P. 65–73.

The results of experimental researches of flow kinematics near-by flexible screen linen of the training construction model, projected for the water area of Tashlyk cooling pond of South-Ukraine nuclear power station are presented. Visualizations and velocity measurements shown that near-by dead-locked part of the construction the large-scale circulation structure and small-scale whirlpools are generated. The intensive jet flow is formed in area of the stream contraction to the wide range of Froude numbers.

---

УДК 628.16.08

**Недостатки применения локальных обратноосмотических установок на примере доочистки водопроводной воды в отеле города Киева** / Кравченко М.В. // Экологическая безопасность и природопользование. – 2015. – № 1(17). – С. 74–82.

Рассмотрены последствия использования обратноосмотических установок при доочистке питьевой воды на примере водопроводной воды в отеле города Киева, которая прошла очистку на установке с мембранным элементом Filmtec XLE 440 (8 ") производства компании DOW Chemical (США). Приведены результаты изменения количественного и качественного состава воды, а именно ее фундаментальных компонентов, в результате доочистки обратным осмосом. Обоснованы технологические и экономические недостатки обратноосмотических установок.

UDC 628.16.08

**Disadvantages of local reverse osmosis plants for example post-treatment tap water in the hotel in Kyiv** / Kravchenko M.V. // Environmental safety and natural resources. – 2015. – № 1(17). – P. 74–82.

The consequences of the use of facilities at reverse osmosis treatment drinking water for example water in the hotel in Kyiv, which was held at the facility with clean membrane element Filmtec XLE 440 (8 ") manufactured by DOW Chemical (USA) are considered. The results of the quantitative and qualitative changes in the water, such as its fundamental components by reverse osmosis purification, are shown. Technological and economic disadvantages reverse osmosis plants are explained.

---

## ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ INFORMATION RESOURCES AND SYSTEMS

---

УДК 502.7:55

**Характеристика геоінформаційних систем моніторингу оточуючої середовища Рохатинського та Богородчанського районів Івано-Франківської області** / Радловська К.А., Волошкина О.С. // Екологічна безпека та природокористування. – 2015. – № 1(17). – С. 83–87.

В статті розглянуто комплексну гео-екологічну оцінку компонентів оточуючої середовища, яка була виконана шляхом комп'ютерної інтеграції спочатку елементарних еколого-техногеохімічних карт, а потім покомпонентних карт. Використовуючи сучасні ГІС-технології, створено автоматизовані комп'ютерні багатокомпонентні постійно діючі системи екологічної безпеки досліджуваної території Богородчанського району.

UDC 502.7:55

**Description geographic information systems environmental monitoring Rohatynsky and Bohorodchansky districts of Ivano-Frankivsk region** / Radlovska K.O., Voloshkina O.S. // Environmental safety and natural resources. – 2015. – № 1(17). – P. 83–87.

The paper considers comprehensive geo-ecological assessment of the environment components, which was performed by computer integration item-eco-techno-geochemical maps and component-wise maps. Applying modern GIS technology it was created the automated multi-computer system permanent environmental safety studying Bogorodchansky region.

УДК 502.7:55

**Регіональна геоінформаційна система моніторингу аграрних ресурсів із застосуванням методів дистанційного зондування Землі** / Греков Л.Д., Кузьмін А.В., Верюжський Г.Ю., Петров О.А., Скавронський В.П. // Екологічна безпека та природокористування. – 2015. – № 1(17). – С. 88–97.

В інтересах товаровиробників сільгоспвиробництва та органів державного управління у сфері сільськогосподарського виробництва розроблено прикладну систему космічного моніторингу аграрних ресурсів регіонального рівня. Система реалізує повний технологічний цикл обробки даних дистанційного зондування Землі з космосу, формування прикладних аграрних сервісів і надання доступу до інформації кінцевому споживачу через універсальний web-інтерфейс (геопортал). Пропоновані тематичні сервіси базуються на комплексному використанні спектральних даних з вільно поширюваних знімків TerraModis і Landsat 8, а також Deimos-1 і RapidEye. Обробка даних дистанційного зондування з метою формування тематичних сервісів базується на методах статистичного, кластерного і факторного аналізу, методах розпізнавання образів, нейронно-мережових методах аналізу.



UDC 502.7:55

**Regional information system monitoring of agricultural resources with application remote sensing of the Earth** / Grekov L.D., Kuzmin A.V., Veryuzhsky G.Y., Petrov O.A., Skavronsky V.P. // Environmental safety and natural resources. – 2015. – № 1(17). – P. 88–97.

Applied system of space monitoring of agricultural resources at the regional level are developed for agricultural producers and public administration in agricultural production. The system implements full technological cycle of processing of remote sensing data from space, the formation of applied agricultural services and access to information for the end-consumers through web-interface (geportal). Proposed thematic services are based on the integrated use of spectral data of TerraModis and Landsat 8 images and Deimos-1 and RapidEye. Processing of remote sensing data in order to create thematic services are based on statistical methods, cluster-tion and factor analysis, methods of pattern recognition, neural network analysis methods.

---

УДК 519.852.33

**Балансування матриці контейнерних потоків у задачі перевезення дрібно-партійних вантажів** / Васянін В.О., Ушакова Л.П. // Екологічна безпека та природокористування. – 2015. – № 1(17). – С. 98–115.

Розглядаються два способи балансування матриці контейнерних потоків при розв'язанні задачі перевезення дрібнопартійних вантажів у контейнерах. Необхідність балансування виникає внаслідок нерівності суми вихідних і вхідних потоків контейнерів у транспортній мережі. Запропоновано математичну модель і алгоритм розв'язання задачі розвозки (доставки) порожніх контейнерів, які можуть бути використані для балансування матриці контейнерних потоків і подальшого розв'язання задачі розподілу та маршрутизації потоків навантажених і порожніх контейнерів. Проведено огляд та аналіз сучасних методів і алгоритмів розв'язання транспортної задачі. Експериментально показано, що оптимальне балансування у порівнянні із симетричним балансуванням дозволяє значно знизити сумарні витрати на перевезення та обробку порожніх контейнерів (у мережах від 100 до 4000 вузлів у 17 і 174 рази відповідно).

UDC 519.852.33

**Balancing matrix containers flows in the problem of transportation of small cargoes** / Vasyanin V.A., Ushakova L.P. // Environmental safety and natural resources. – 2015. – № 1(17). – P. 98–115.

Examined two methods of balancing a matrix of containers flows at the solution of the problem of transportation of small cargoes in containers. The need for balancing appears as a result of the inequality of sum of outputs and inputs flows of containers in the nodes of transport network. Is proposed mathematical model and algorithm of the solution of the problem of the conveying of the empty containers, which can be used for balancing of the matrix of the containers flows and subsequent solution of the problem of distribution and routing of the flows of loaded and empty containers. Survey and analysis of contemporary methods and algorithms for solution transportation problem is carried out. It is experimentally shown, that a optimal balancing in comparison with a symmetrical balancing, makes possible to considerably reduce summary expenditures on transporting and processing of empty containers (on the networks from 100 to 4000 nodes in 17 and 174 times respectively).

---

УДК 502.4+911+004.9

**Оценка фрагментирования территории биосферного резервата «Шацкий» средствами ГИС / Алехина О.В., Горбань И.М., Ивченко Д.В. // Экологическая безопасность и природопользование. – 2015. – № 1(17). – С. 116–123.**

Проведено исследование фрагментирования природоохранной территории биосферного резервата «Шацкий». Получены количественные характеристики фрагментирования и созданы картографические материалы этой территории с использованием фрагментирующих сетей трех уровней, в зависимости от возможности их преодоления различными видами животных и растений. Определены возможные пути уменьшения фрагментирования природоохранной территории биосферного резервата.

UDC 502.4+911+004.9

**Assessment of fragmentation of biosphere reserve «Shatsky» by GIS / Alekhina O.V., Gorban I.M., Ivchenko D.V. // Environmental safety and natural resources. – 2015. – № 1(17). – P. 116–123.**

The fragmentation of the biosphere reserve «Shatsky» is investigated. The quantitative characteristics fragmentation are received. The cartographic materials of this area are created by using three levels of fragmentation networks, depending on the ability its overcoming by different kinds of animals and plants. Possible ways to reduce the fragmentation of protected area of biosphere reserve are determined.

## ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Альохіна Ольга Володимирівна** – молодший науковий співробітник Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, (м. Львів).

**Атаєв Сергій Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент ПВНЗ «Європейський університет», (м. Рівне).

**Васянін Володимир Олександрович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, (м. Київ).

**Веружський Георгій Юрійович** – головний інженер ДНВЦ «Природа» (м. Київ).

**Волошкіна Олена Семенівна** – доктор технічних наук, професор, декан факультету інженерних систем і екології Київського національного університету будівництва та архітектури, (м. Київ).

**Воскобійник Володимир Анатолійович** – доктор технічних наук, провідний науковий співробітник Інституту гідромеханіки НАН України, (м. Київ).

**Воскобойник Олександр Анатолійович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту гідромеханіки НАН України, (м. Київ).

**Воскобійник Андрій Володимирович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту гідромеханіки НАН України, (м. Київ).

**Горбань Ігор Миронович** – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, (м. Львів).

**Греков Леонід Дмитрович** – доктор технічних наук, директор ДНВЦ «Природа» (м. Київ).

**Загородня Сніжана Анатоліївна** – молодший науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, (м. Київ).

**Запорожець Олександр Іванович** – доктор технічних наук, професор, директор Інституту екологічної безпеки Національного авіаційного університету (м. Київ).

**Івченко Дарія Вікторівна** – інженер II категорії відділу оптико-електронних інформаційних систем Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка, (м. Львів).

**Колпакова Ольга Анатоліївна** – аспірант Київського національного університету будівництва та архітектури (м. Київ).

**Кравченко Марина Василівна** – кандидат технічних наук, доцент Київського національного університету будівництва і архітектури (м. Київ).

**Кривомаз Тетяна Іванівна** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри охорони праці і навколишнього середовища Київського національного університету будівництва та архітектури (м. Київ).

**Кузьмін Анатолій Володимирович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент Київського національного університету ім. Т.Г. Шевченка, (м. Київ).

**Левченко Лариса Олексіївна** – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів та систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний університет» (м. Київ).

**Мокрий Володимир Іванович** – доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності Національного університету «Львівська політехніка», (м. Львів).

**Олійник Олександр Якович** – член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор, зав. відділу Інституту гідромеханіки НАН України, (м. Київ).

**Петров Олексій Анатолійович** – кандидат географічних наук, зав. відділу ДНВЦ «Природа» (м. Київ).

**Радловська Катерина Олексіївна** – аспірант Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (м. Івано-Франківськ).

**Радчук Валентин Васильович** – доктор геологічних наук, зав. відділу Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (м. Київ).

**Радчук Ігор Валентинович** – науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (м. Київ).

**Рогожин Олексій Григорович** – доктор економічних наук, провідний науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, (м. Київ).

**Скавронський Віктор Павлович** – науковий співробітник ДНВЦ «Природа» (м. Київ).

**Стефанишин Дмитро Володимирович** – доктор технічних наук, провідний науковий співробітник, професор кафедри гідротехнічних споруд Національного університету водного господарства та природокористування (НУВГП), (м. Рівне).

**Трофимчук Олександр Миколайович** – член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор, заступник директора з наукової роботи Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (м. Київ).

**Ушакова Людмила Павлівна** – здобувач наукового ступеня кандидата технічних наук, директор приватного підприємства «Архівна справа», (м. Київ).

**Хижа Ігор Анатолійович** – провідний інженер Інституту гідромеханіки НАН України, (м. Київ).

**Хомицький Віталій Володимирович** – кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник Інституту гідромеханіки НАН України, (м. Київ).

**Яковлев Євген Олександрович** – доктор технічних наук, головний науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, (м. Київ).

© Авторські і суміжні права належать авторам окремих публікацій, Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київському національному університету будівництва і архітектури.

© Авторские и смежные права принадлежат авторам отдельных публикаций, Институту телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины, Киевскому национальному университету строительства и архитектуры.

Copyright © authors of publications, Institute of Telecommunications and Global Information Space of NAS of Ukraine, Kyiv National University of Construction and Architecture. All rights reserved.

## ДО УВАГИ АВТОРІВ ЖУРНАЛУ

Зміст матеріалів, що направляються до редакції, повинен відповідати профілю та науково-технічному рівню журналу.

Кожна наукова стаття повинна мати вступ, розділи основної частини та висновки, а також анотацію і ключові слова трьома мовами (українською, російською та англійською). Також трьома мовами подаються реферати до статті.

Підготовка статті здійснюється в текстовому редакторі MS WORD for WINDOWS, з використанням шрифту Times New Roman, Суг, кегль 11, одинарний інтервал, полями 2,0 см з кожного боку, заданим розміром сторінок 17x26 см.

Усі формули мають бути набрані в редакторі Microsoft Equation.

Ілюстрації повинні обов'язково нумеруватися, мати книжкову орієнтацію і не можуть перевищувати за розміром журнальну сторінку (параметри сторінки 17x26 см з полями 2,0 см). Перелік літературних джерел оформляється згідно з ГОСТ 7.1-84 і подається загальним списком у кінці статті за чергою посилення у тексті. Посилання на літературні джерела в тексті даються в квадратних дужках.

Наприкінці статті наводиться коротка довідка про авторів, де вказуються прізвище, повне ім'я та по батькові авторів, науковий ступінь, вчене звання, посада, назва підрозділу (кафедри) та організації, особисті дані кожного з авторів (адреса, місто, країна, контактний телефон, e-mail).

Обов'язково слід надати електронну версію в редакторі Microsoft Word.

Усі представлені в редакцію рукописи проходять ретельне багатоланкове рецензування відповідними фахівцями за профілем статті. Якщо сумарна оцінка рецензентів менша за встановлений поріг, рукописи відхиляються. Автору надсилається відповідне повідомлення. Матеріали, отримані від автора, редакцією не повертаються. Після доопрацювання автор може подати матеріал повторно, з виконанням усіх процедур подачі матеріалу.

Зміст статті та якість написання або перекладу (українською або англійською мовами) переглядаються коректорами журналу, проте відповідальність за зміст та якість статті несуть автори матеріалу. До статті можуть бути внесені зміни редакційного характеру без згоди автора.

Розділ журналу, до якого буде віднесена стаття, визначається редакцією, узгоджується – головним редактором або його заступником. Остаточний висновок щодо публікації матеріалів схвалює редакційна колегія журналу.

Електронна версія журналу в Інтернеті знаходиться на сайті Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського.

Журнал також представлений на сайті Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України <http://itgip.org/> у розділі «Видавнича діяльність».

*Виконавчий редактор – В.П. Берчун*

---

**Надруковано:**

Видавничий дім «Юстон»  
01034, м. Київ, вул. О. Гончара, 36.  
Тел.: (044) 360-22-66  
Реєстраційне свідоцтво НБ № 153324 від 05.11.2012 р.

---

Підписано і здано до друку 30.03.2015. Формат 70x108/16. Папір офсетний.  
Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 12.25  
Обл.-вид. арк. 11.4 Тираж 300 примірників  
Замовлення № \_\_\_\_

---

КИЇВ 2015